

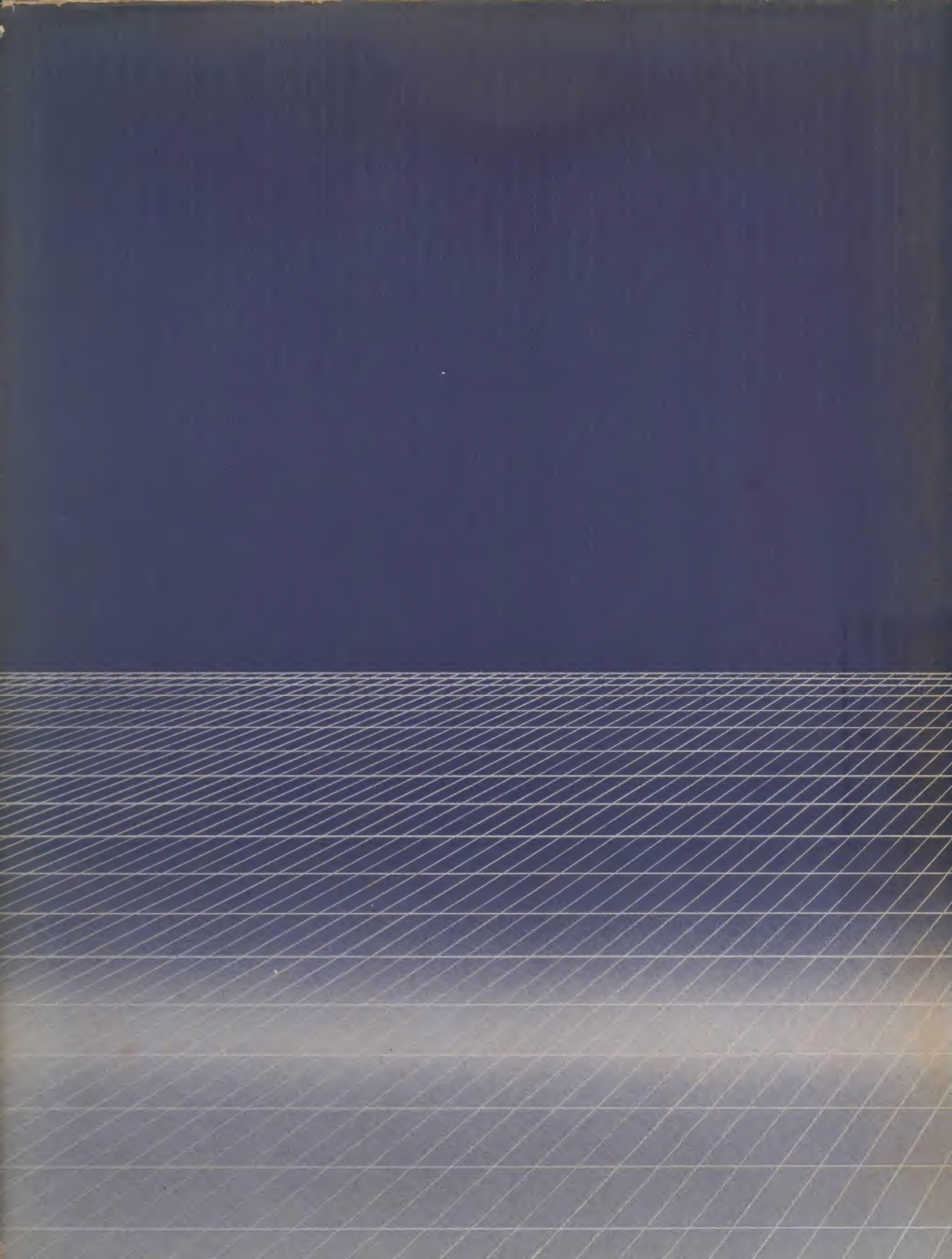
Ciencia y Técnica

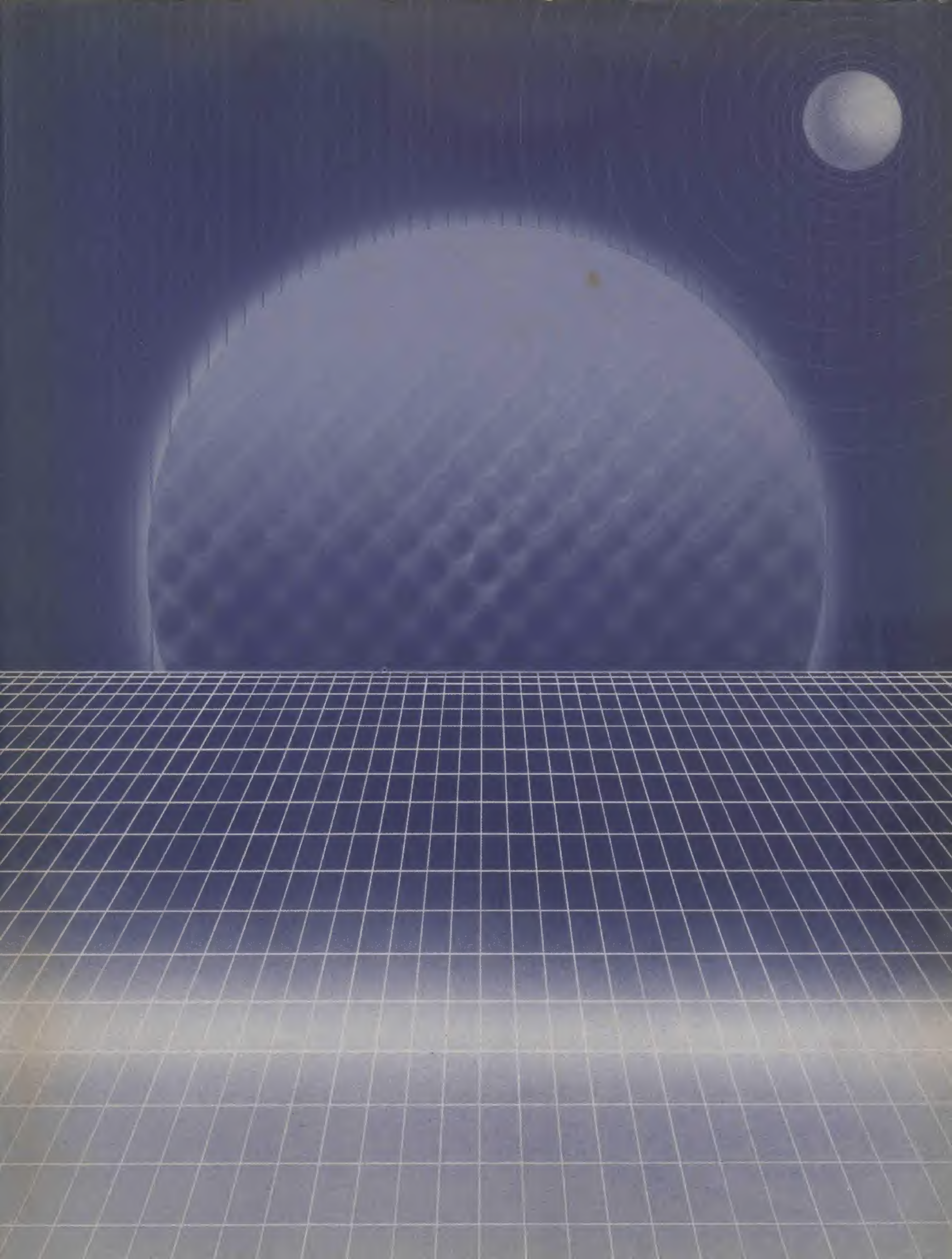


8

1977-1978
1977-1978

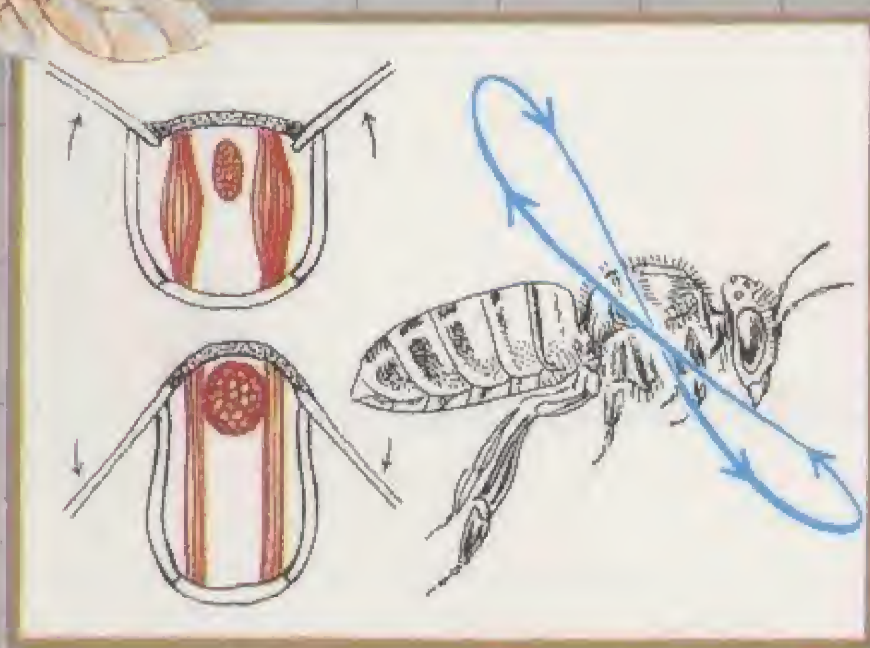
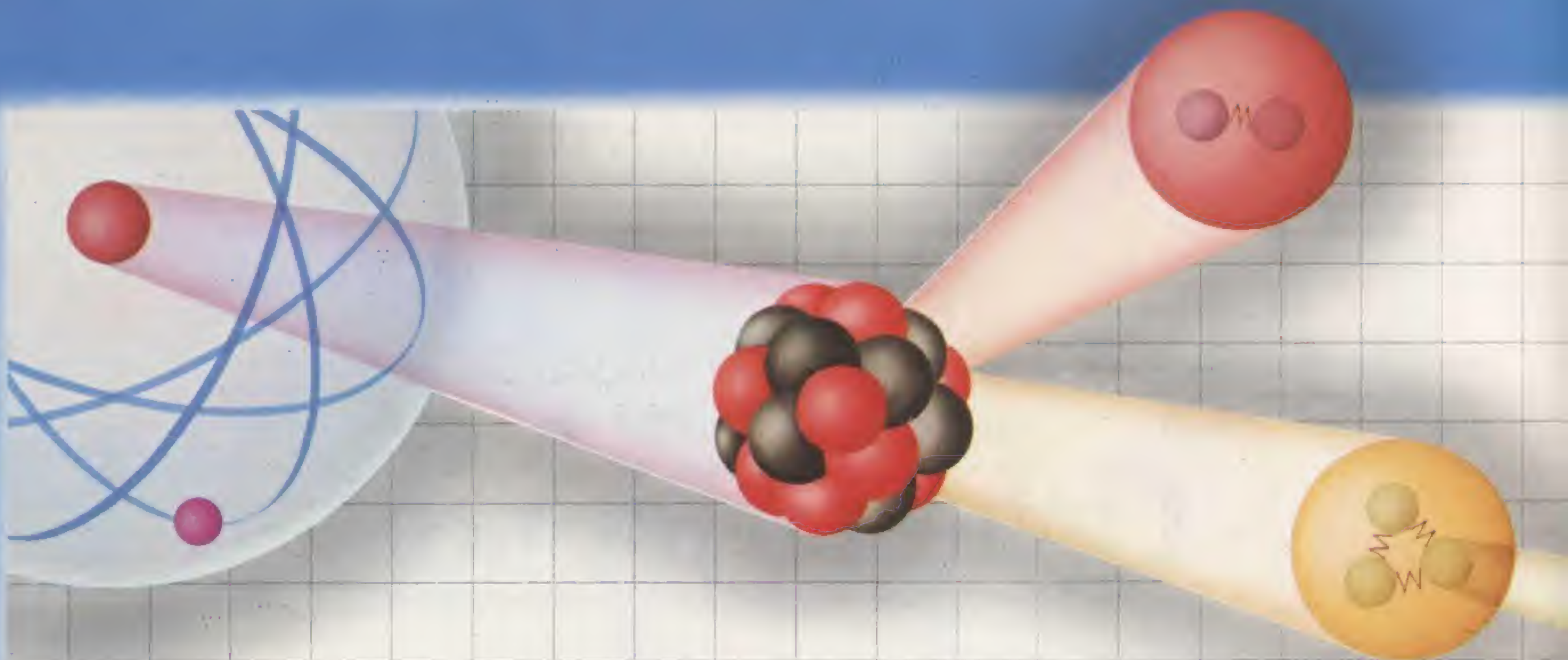
SALVAT





ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



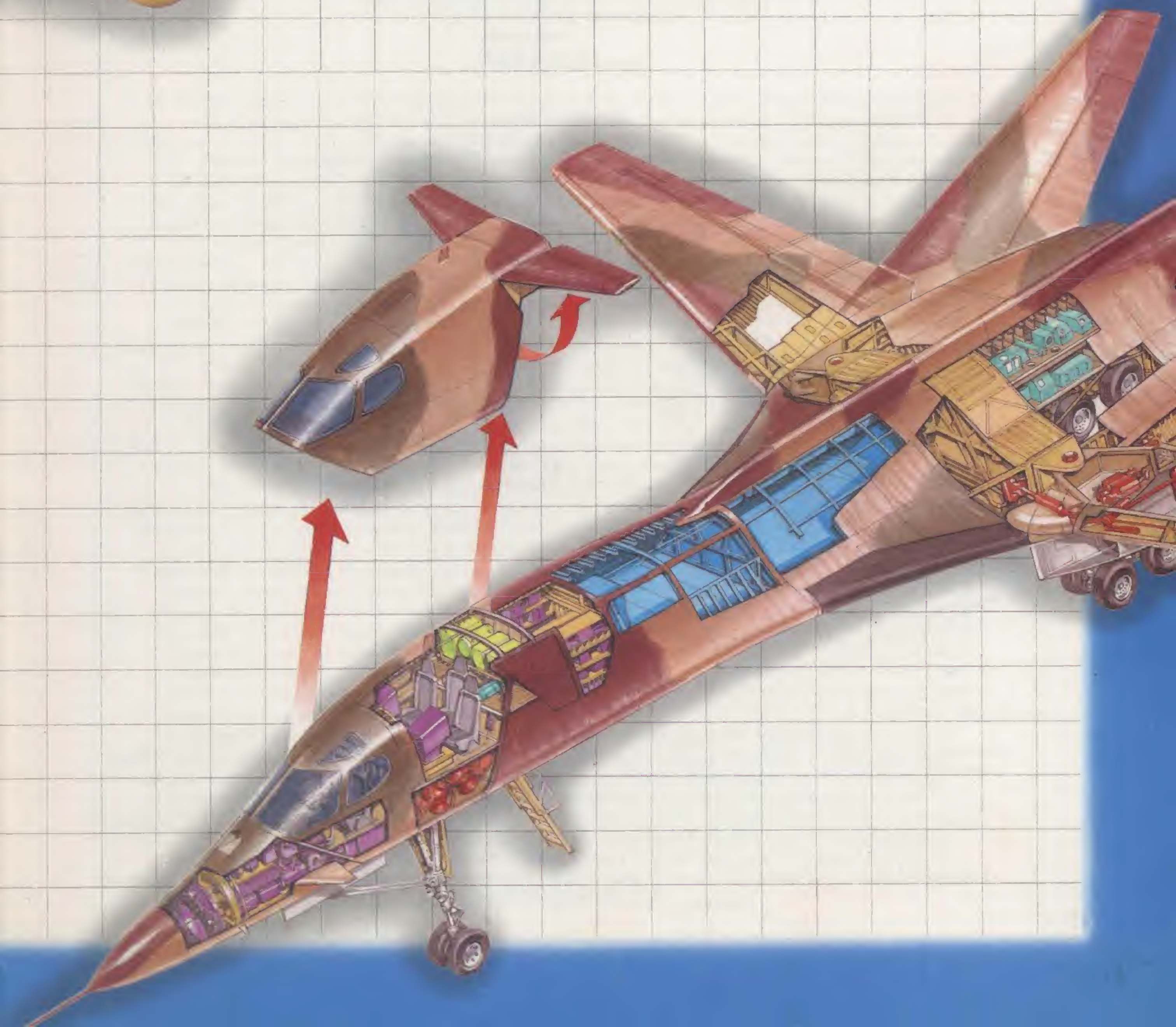
Publicado por
SALVAT EDITORES, S.A.
Mallorca, 47, 08029 Barcelona, España

© Salvat Editores, S.A. 1987
© Gruppo Editoriale Fabbri

Impresión:
Gráficas Estella, S.A.
Estella, Navarra, 1987
Depósito Legal: NA. 125 - 1984
ISBN: 84-345-4490-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-4498-9 (Volumen 8)
Printed in Spain

ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



Director
Juan Salvat

Director de la obra:
Jesús Campos

Secretaría de redacción
Concepción Camarero

Director artístico
Francesc Espluga

Redacción
María Teresa M. Faraldo

Producción
Leonor Murillo

Prólogo
Pedro Laín Entralgo,
Presidente de la Real Academia Española de la Lengua



Redacción Edición Internacional

Christian Angermann – Donald Antrim – Timothy Bay – Trudy Bell – Shelley Berc – David Black –
Diane Blanchard – Bonnie Borenstein – Judith Brister – Jean Brody – Serena Cha – Robert Crease – Peter
Cunningham – Dr. Rhodes Fairbridge – Marguerite Feitlitz – Corinna Gardner – Barbara George –
Ellen Goldensohn – Jean Grasso – Fitz Patrick – Peter Gyallay-Pap – Steve Hall – James Harris –
Doug Henwood – David Herndon – Paul Hoeffel – Andrea Kantor – Jonathan Katz – Jim Keegan – Philippa Keil
– Percy Knauth – Bary Koffler – Barbara Kopit – Paulette Licitra – Becky London – Deborah Lumpee –
Charles Mann – Robert MacVicar – Dale McAdoo – Fred Nadis – Joy Nager – Peter Oberlink –
Robert Salter – Sandra Sharp – George Shea – Howard Smith – Zev Trachtenberg – Vieri Tucci – Edit Emili
Villareal – Veronica Visser – Graham Yost – Sasha Zeif

Colaboradores científicos de este volumen, edición española:

Manuel Abejón, *Universidad Politécnica de Madrid*
Alberto Brito, *Universidad de La Laguna*
Javier Cacho, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Mercedes Campos, *Universidad de La Laguna*
César Casquet, *Universidad Complutense*
Víctor Casquet, *Licenciado en Astrofísica*
Juan José Díez, *Universidad Complutense*
Sebastián Dormido, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
Isabel Espinel, *Licenciada en Ciencias Biológicas*
Manuel Gil, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Idefonso Irún, *Licenciado en Ciencias Físicas*
José M. López Piñero, *Universidad de Valencia*
Juan Ramón Medina, *Universidad de Sevilla*
Ignacio Meléndez, *Universidad Complutense*
M.^a Rosa Miracle, *Universidad de Valencia*
Francisco Montero de Espinosa, *Instituto "L. Torres Quevedo"*
Germiniano Ontañón, *Licenciado en Ciencias Químicas*
Gerardo Pastor, *Instituto "L. Torres Quevedo"*
Antonio Ramos, *Instituto "L. Torres Quevedo"*
Germán Rodríguez Corral, *Instituto "L. Torres Quevedo"*
M.^a Jesús Sáinz de Aja, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Magna Santos, *Instituto "Daza de Valdés"*
Pedro Tomás Sanz Sánchez, *Instituto "L. Torres Quevedo"*
Manuel Sigueros, *Instituto "L. Torres Quevedo"*
José Luis Téllez, *Musicólogo*

Consejo de Redacción

Dr. Andrew Abrahams - *Bedford Stuyvescent Hospital, N. Y.* — Nancy Akre - *Cooper-Hewitt Museum, N. Y.*
— Dr. Neil Baggett - *Brookhaven National Laboratory, N. Y.* — Dr. Thomas J. Barnard - *Columbia Presbyterian Hospital, N. Y.* — William Bates - *Computer consultant, N. Y.* — Terry Belanger - *Columbia University, N. Y.* — Roberto Brambilla - *Institute for Environmental Action, N. Y.* — Oscar A. Campa - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N. Y.* — Dr. A.L. Carsten - *Brookhaven National Laboratory, N. Y.* — Dr. Lars Cederqvist - *Gynecologist, N. Y.* — Carroll Cline - *Lighting consultant, N. Y.* — Dr. Paul Comer - *Anaesthesiologist, Montana* — John Dalton - *Modelworks, Inc, N. Y.* — David Devaleria - *Columbia University, N. Y.* — Ken Distler - *Ademco, Long Island, N. Y.* — Dr. Janice Dodds - *Columbia University, N. Y.* — David Dooling - *Huntsville Times, Huntsville, Alabama* — Lt. Robert Donovan - *U.S. Navy, N. Y.* — Prof. Patricia Dudley - *Barnard College, N. Y.* — Dr. Rene Eastin - *Long Island University, N. Y.* — Prof. Rhodes Fairbridge - *Columbia University, N. Y.* — Dr. Gerald Feinberg - *Columbia University, N. Y.* — Robert Feitlowitz - *Textiles consultant, N. Y.* — Leonard Feldman - *Leonard Feldman Electronic Lab, N. Y.* — John Fitch - *Automobile consultant, N. Y.* — Dr. Richard Fitzpatrick - *Bell Laboratories, N. Y.* — Dr. Robert Fried - *Psychiatrist, N. Y.* — Sara Friedman - *Author, N. Y.* — Dr. Michael Garvey - *Animal Medical Center, N. Y.* — Prof. Allan Gilbert - *Columbia University, N. Y.* — Dr. John Gmeiner - *Nebraska Psychiatric Institute, Nebraska* — Eugene Grisanti - *International Flavors and Fragrances Inc, N. Y.* — Annabelle Harris - *International Paper, N. Y.* — Kevin Hayes - *Typesetter, N. Y.* — Norman Hollyn - *Film editor, N. Y.* — Dr. Jonathan House - *Doctor, N. Y.* — Dr. Elizabeth Kellner - *Nutritionist, N. Y.* — Prof. Ellis Kolchin - *Columbia University, N. Y.* — Prof. Martin Kramer - *City College of New York, N. Y.* — T. Kuroiwa - *Japan Smoking Articles Corporated Assoc., Tokyo* — Prof. Charles Larmore - *Columbia University, N. Y.* — Dr. Warren Levin - *World Health Medical Grova, N. Y.* — Janet Loughridge - *American Health Foundation, N. Y.* — Dr. William Love - *Brookhaven National Laboratory, N. Y.* — Dr. John Maisey - *American Museum of Natural History, N. Y.* — Alan Macher - *Information Systems Group, N. Y.* — Dr. James Macpherson - *Engineering consultant, Virginia* — Eli Martin - *Architect, N. Y.* — Derrick McDowell - *Science consultant, N. Y.* — Elvin McDonald - *Author, N. Y.* — Dr. Kenneth Meisler - *Preventive and Sports Medical Center, N. Y.* — Jim Marchese - *Photographer, N. Y.* — Dr. Judith Molnar - *Biologist, N. Y.* — Dr. Peri Namerov - *Center for Population and Family Health, N. Y.* — Lt. Joseph Nimmich - *U.S. Coast Guard, N. Y.* — Dr. Ruth Nussenzweig - *NYU Medical Center, N. Y.* — Dom Perciballi - *Emergency medical technician, N. Y.* — Felix Peruggi - *Fireworks by Grucci, N. Y.* — Alice Petropoulos - *National Council on Alcoholism, N. Y.* — Prof. James Polshek - *Columbia University, N. Y.* — David Pope - *Editor consultant, Connecticut* — Walter Reed - *National Automatic Merchandising Association, Illinois* — Dr. Ronald Rieder - *Psychiatrist, N. Y.* — Robert Robertson - *Oceaneering, Inc, Texas* — James Rosenthal - *Magnet Paint and Varnish, N. Y.* — Joe Scherer - *Cinema Interface, N. Y.* — Dr. Ralph Shutt - *Brookhaven National Laboratory, N. Y.* — Prof. Philip Smith - *Columbia University, N. Y.* — Betty Sprigg - *Pentagon, Washington, D. C.* — Timothy Steinhoff - *Gardening consultant, N. Y.* — D. William Strohmeier - *Ad Astra Communications, Connecticut* — Dr. Joseph Thach - *Pentagon, Washington, D. C.* — Peter Tischbein - *U.S. Army Corps of Engineers, N. Y.* — Joe Trammell - *NAVASYNC Sound, N. Y.* — Debbie Triantaphyllou - *MITER Inc.* — K.C. Tung - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N. Y.* — Prof. David Tyler - *Columbia University, N. Y.* — James Walkup - *New School for Social Research, N. Y.* — Walter Washko - *University of Connecticut, Connecticut* — Aura Weinstein - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N. Y.* — Lilian Yung - *Columbia University, N. Y.* —

Ingeniería genética

Hacer funcionar la Naturaleza "como una industria" mediante un control de alta precisión de los procesos biológicos, comparable al que hemos logrado de los procesos físicos en campos tales como la Mecánica o la Electrónica, es una esperanza tan antigua como la cultura humana. Aunque todavía no es seguro que esta empresa pueda ser llevada a cabo plenamente, la multiplicación de los descubrimientos en el campo de la Biología molecular durante la década 1970 a 1980 vuelve a poner esta "revolución" a la orden del día. Como fundamento de estas esperanzas cabe mencionar, en primer lugar, los avances en las técnicas de modificar y transferir el ADN entre organismos diferentes.

El ADN y los enzimas de restricción El ADN es una compleja molécula comparable a una cadena cuyos eslabones serían cuatro tipos de subunidades distintas, o *nucleótidos*, dispuestos según secuencias específicas, cada una de las cuales controla la producción de una proteína determinada, las grandes moléculas imprescindibles a la vida. Estas secuencias del ADN, que se llaman *genes*, han sido objeto de profundos estudios desde el descubrimiento en 1953 por Watson y Crick de la estructura molecular del ADN.

En 1976, Gilbert y Maxam, de la Universidad de Harvard, e independientemente Sanger, elaboraron métodos rápidos de secuenciación del ADN; a partir de ese momento fue posible conocer las cadenas de nucleótidos de los genes. Además, a partir de 1972 se avanzó mucho en el conocimiento de los llamados *enzimas de restricción*, que cortan la molécula de ADN en sitios determinados, lo que per-

mite aislar fragmentos concretos de ADN que contengan un gen determinado. En 1978, Arber, Smith y Nathans recibieron el Premio Nobel por su contribución al estudio de esos enzimas y de sus aplicaciones al trasplante de genes.

El trasplante de genes Hacer un trasplante de genes consiste en tomar un fragmento de ADN con cierto gen de un organismo, transferirlo al ADN de otro organismo —frecuentemente una bacteria— y reinsertar el ADN híbrido en las células de ese segundo organismo. La bacteria más utilizada como organismo receptor es *Escherichia coli*, un bacilo no patógeno que es un constituyente habitual de la flora intestinal humana. El interés del trasplante de genes reside en que el gen trasplantado es capaz de funcionar en el organismo receptor, lo que permite, por ejemplo, obtener cepas de *Escherichia coli* que han adquirido la capacidad hereditaria de sintetizar proteínas de otros organismos, e incluso humanas.

Aplicaciones a la Medicina Algunas enfermedades se deben a la carencia de una proteína esencial al organismo humano; por ejemplo, el déficit de la hormona insulina provoca la diabetes; y la carencia de la hormona del crecimiento, que controla el crecimiento del esqueleto, segregada normalmente por la hipófisis, provoca un tipo de enanismo.

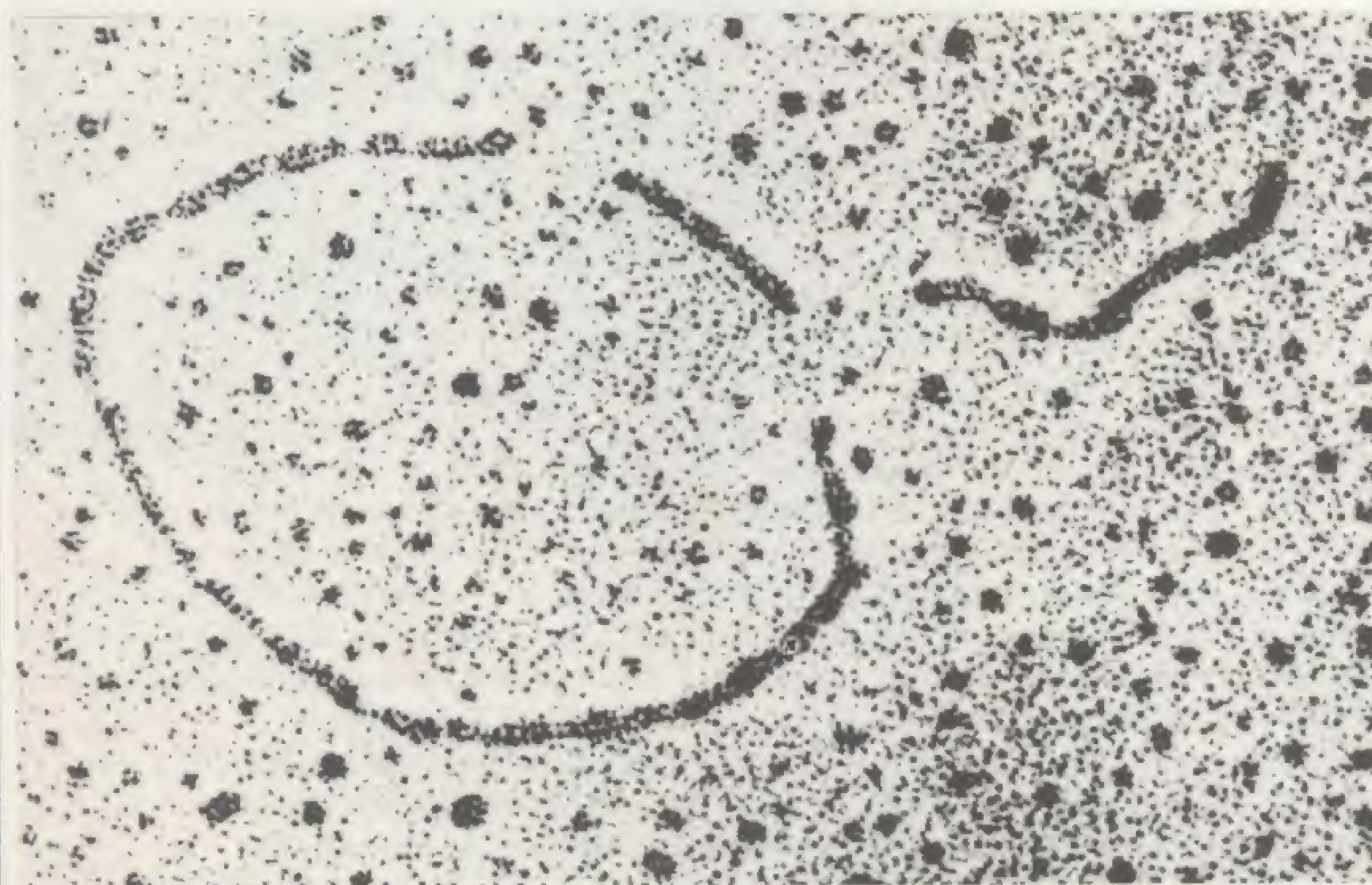
Actualmente se dispone de cepas bacterianas capaces de sintetizar la hormona del crecimiento y de otras capaces de sintetizar insulina. La administración a los pacientes de las proteínas humanas sintetizadas por esas bacterias ayuda a paliar las enfermedades. También se están em-



progenitores albinos



progenitores de pelo negro



Esta imagen, obtenida al microscopio electrónico, muestra un plásmido bacteriano, o molécula circular de ADN, y, a la

derecha, otro segmento de ADN. La recombinación entre ambos fragmentos de ADN se lleva a cabo con enzimas obtenidos

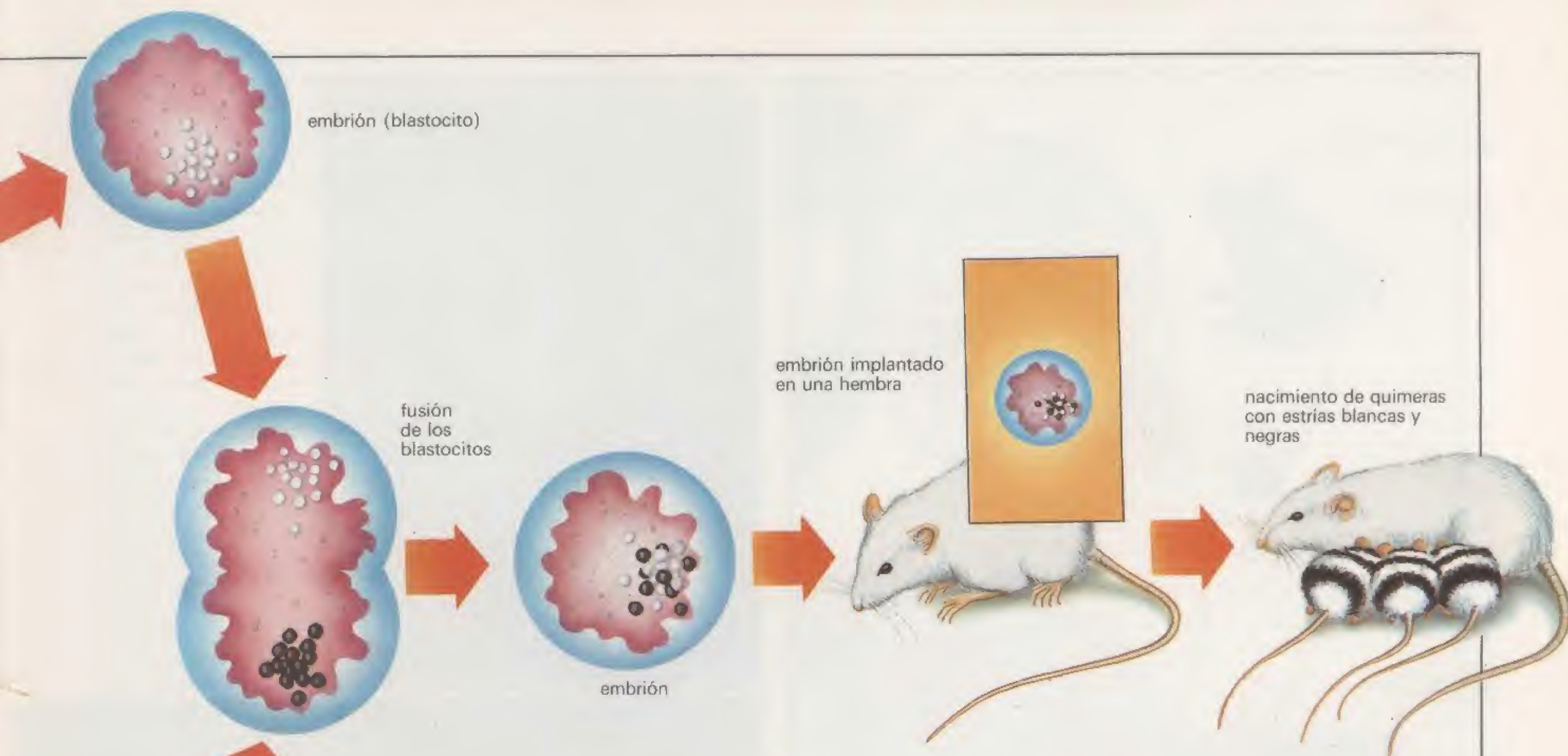
de células. El ADN recombinante puede ser introducido en otras células, donde se reproducirá y expresará. Así,

algunas bacterias han "aprendido" a sintetizar hormonas humanas. Esta técnica se utilizará a gran escala en el futuro.

pleando bacterias para fabricar cantidades apreciables de interferones, proteínas antivíricas que el organismo humano produce en pequeñísimas concentraciones. Se cree que los interferones podrían ayudar a curar ciertos tipos de cáncer.

Otros científicos están tratando de lograr vectores para introducir genes en células de mamíferos o humanas, con la esperanza de suministrar a los enfermos no simplemente la proteína sino el gen que la codifica. Así, en 1970, Paul Berg, de la Universidad de Stanford, California, empezó a intentar lograr moléculas de ADN del virus SV40 —que infecta primates— que contuvieran genes no virales, trabajo por el que recibió el Premio Nobel en 1980. Logró introducir el gen de la globina del conejo en células de mono por medio del virus SV40 y las células de mono empezaron a fabricar moléculas de globina de conejo. Quizá algún día la diabetes hereditaria pueda curarse suministrando al enfermo el gen alterado.

Los anticuerpos monoclonales No todas las aplicaciones de la Ingeniería genética se basan en lograr ADN híbrido; a veces basta con células híbridas, como en el caso de los *anticuerpos monoclonales*.



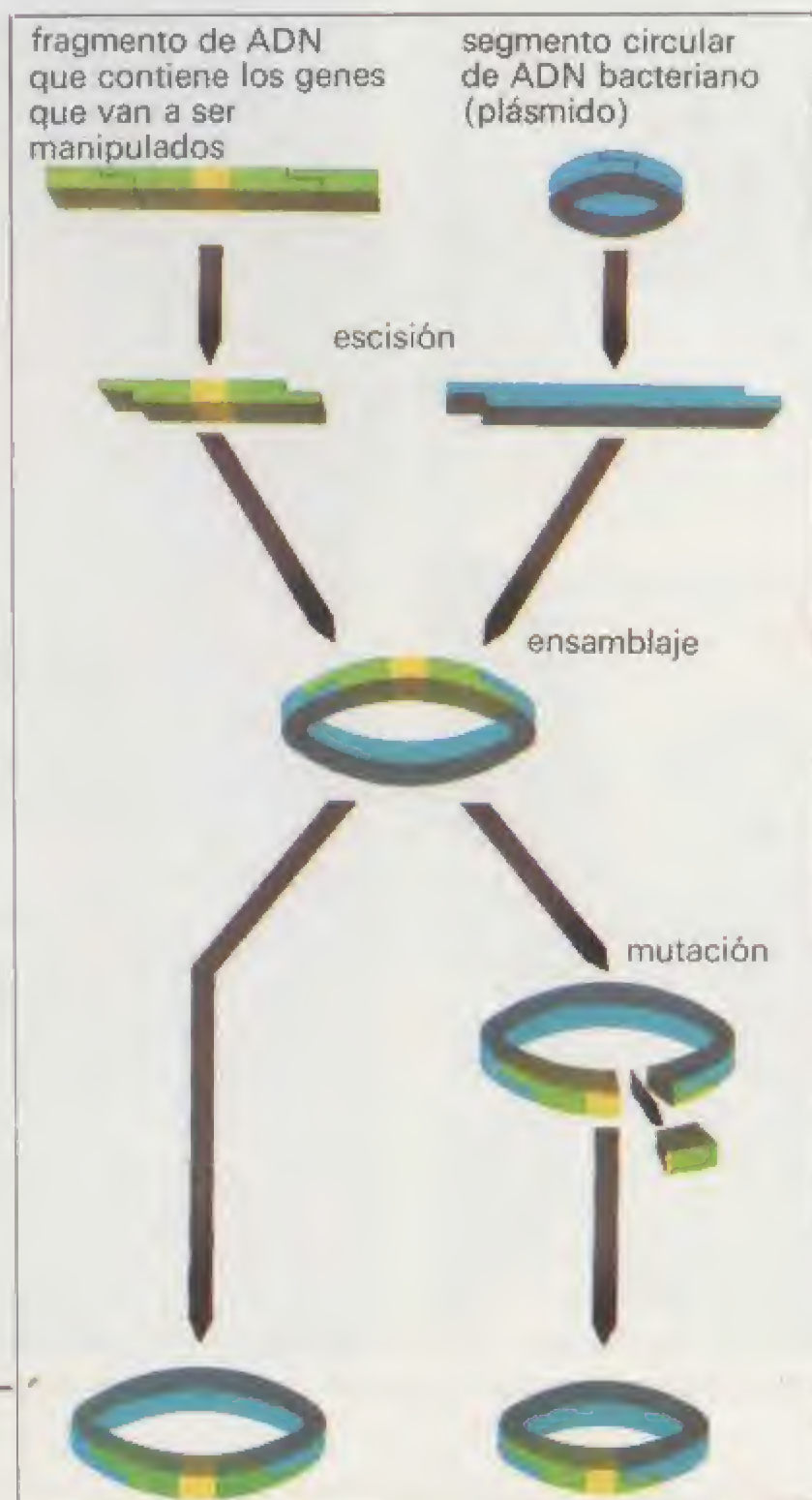
Hoy en día, se ha logrado fundir dos embriones de ratón para lograr una quimera, que se introduce en el útero de una hembra preparada, donde

completa el desarrollo. En la Universidad de Yale, en Estados Unidos, se ha logrado fundir más de dos embriones en uno único, obteniéndose así quimeras

múltiples. En la figura (arriba) se muestra la obtención de ratoncitos quiméricos, con estrías blancas y negras, a partir de la fusión de un embrión proveniente de

progenitores blancos con otro de progenitores negros. Abajo, esquema de cómo obtener un plásmido que contenga un gen proveniente de otro ADN.

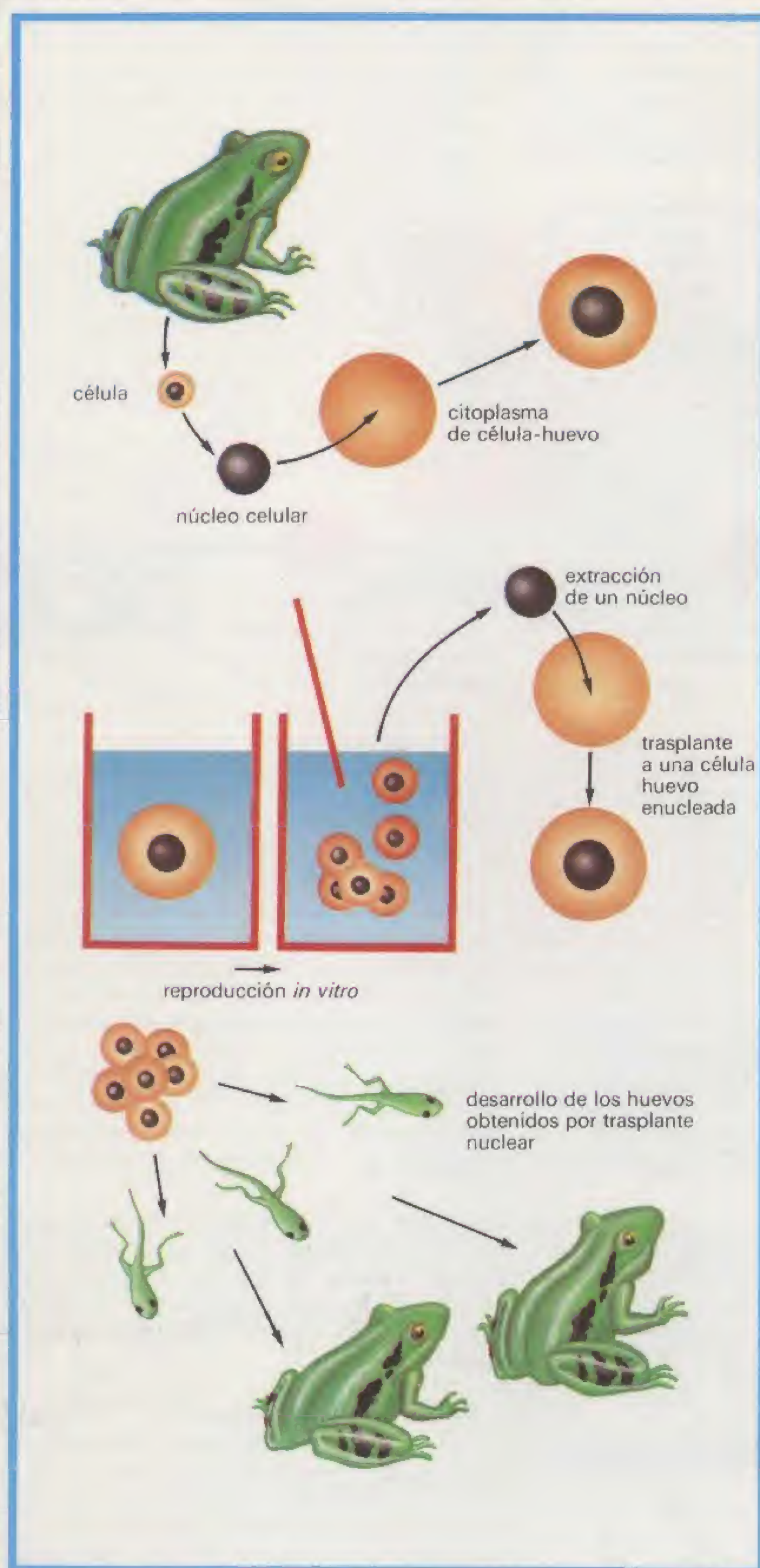
Como se sabe, la respuesta inmunitaria a un antígeno consta de una mezcla compleja de anticuerpos distintos, cada uno producido por un clan de linfocitos distinto. Si se lograra cultivar por separado un clan particular de linfocitos, todas las moléculas de anticuerpo producidas por ese cultivo serían idénticas, es decir, se trataría de un anticuerpo monoclonal. Desgraciadamente, las células productoras de anticuerpos no pueden mantenerse en cultivo; no obstante, César Milstein, un argentino exiliado a Inglaterra, y su colaborador Köhler lograron fundir, hacia 1974, células tumorales con linfocitos, lo que originó clones celulares que se dividen ilimitadamente, como las células tumorales, y producen un anticuerpo único, como cada linfocito aislado. La barrera de los anticuerpos monoclonales se había franqueado. El interés reside en que los anticuerpos monoclonales están perfectamente "sintonizados" para cada cepa de virus o bacteria, por lo que permiten una identificación muy precisa de los microorganismos responsables de las enfermedades. Por ejemplo: existen varias formas de hepatitis difíciles de distinguir —tales que cada una requiere una terapéutica distinta—, que pueden identificarse ahora con anticuer-



pos monoclonales. Se especula con lograr híbridos que sinteticen anticuerpos monoclonales contra antígenos tumorales, de modo que ayuden al organismo a matar las células cancerosas sin dañar las restantes.

Aplicaciones a la agricultura La capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico para producir las proteínas necesarias a la vida está limitada a ciertas especies de bacterias; los animales y plantas son incapaces de fijar nitrógeno; de ahí que deba suministrarse a las plantas abonos nitrogenados, cuyo precio cada vez es mayor. Algunas leguminosas establecen relaciones simbióticas con bacterias fijadoras, aprovechando luego el nitrógeno fijado por la bacteria. Investigadores de muchos países están tratando de lograr cereales que entren en simbiosis con bacterias fijadoras, o de transferir de las bacterias a las plantas, por Ingeniería genética, los genes responsables de la fijación. El ahorro de fertilizantes abarataría mucho la producción de alimentos.

Lucha contra la contaminación El 3 de junio de 1979, una plataforma de investigaciones petrolíferas situada en el Golfo



B



A



D



C

Mediante la utilización de una sofisticada biotecnología es posible obtener individuos a partir de una célula cuyo citoplasma proviene de un óvulo y su

núcleo de otra célula donadora. El proceso es similar al descrito para el xenopo albino, que, como la rana, se utiliza en experimentos de clonación.

Se obtienen células para clonar del intestino de sus renacuajos (A) y se trasplanta su núcleo al óvulo que previamente ha sido irradiado para destruir



de México saltó por los aires, liberando 530 millones de litros de petróleo crudo. La mancha negra flotó en la superficie del mar durante varias semanas, matando el plancton y los peces y cubriendo las plumas de las aves marinas con una capa mortal de fango negro. Cuando la marea negra llegó a la costa, recubrió las playas y provocó la muerte de los organismos costeros. Los daños ascendieron a centenas de millones de dólares y los estudios de tan dramático escenario concluyeron que serían necesarios al menos 25

años para repoblar la zona. El desastre alcanzó tan grandes dimensiones porque, aunque se logró evacuar la arena manchada de negro, fue imposible recoger el petróleo derramado en la superficie del océano. El gobierno no había adoptado medidas preventivas y, en segundo lugar, faltaron iniciativas para solucionar la catástrofe una vez producida, lo que determinó una serie de protestas tendentes a cambiar los métodos de extracción y transporte del petróleo. Los voluntarios que con mucha generosidad y pocas es-

peranzas limpiaban las plumas de las gaviotas impregnadas de petróleo quizá no imaginaban que las técnicas de Ingeniería genética iban a solucionar la contaminación por fugas de petróleo. Científicos norteamericanos y franceses han obtenido cepas de bacterias marinas capaces de metabolizar los hidrocarburos sin contaminar el medio. Cepas similares se emplearán para eliminar del ambiente insecticidas tóxicos, aguas residuales y desechos provenientes de industrias productoras de derivados lácteos, aceites, etcétera.

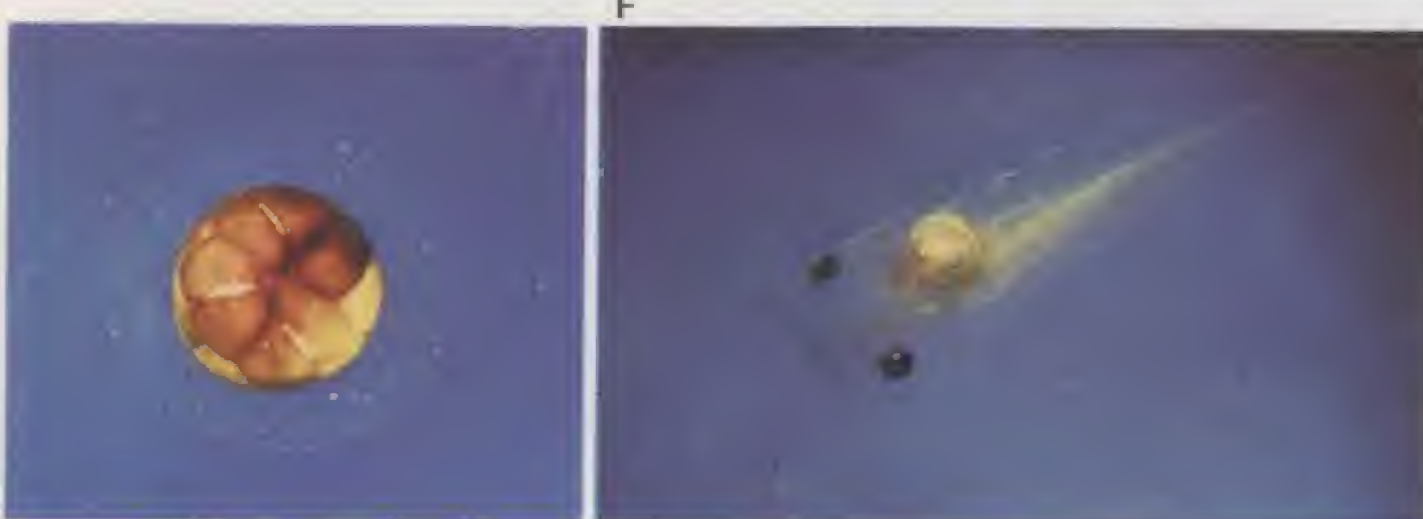
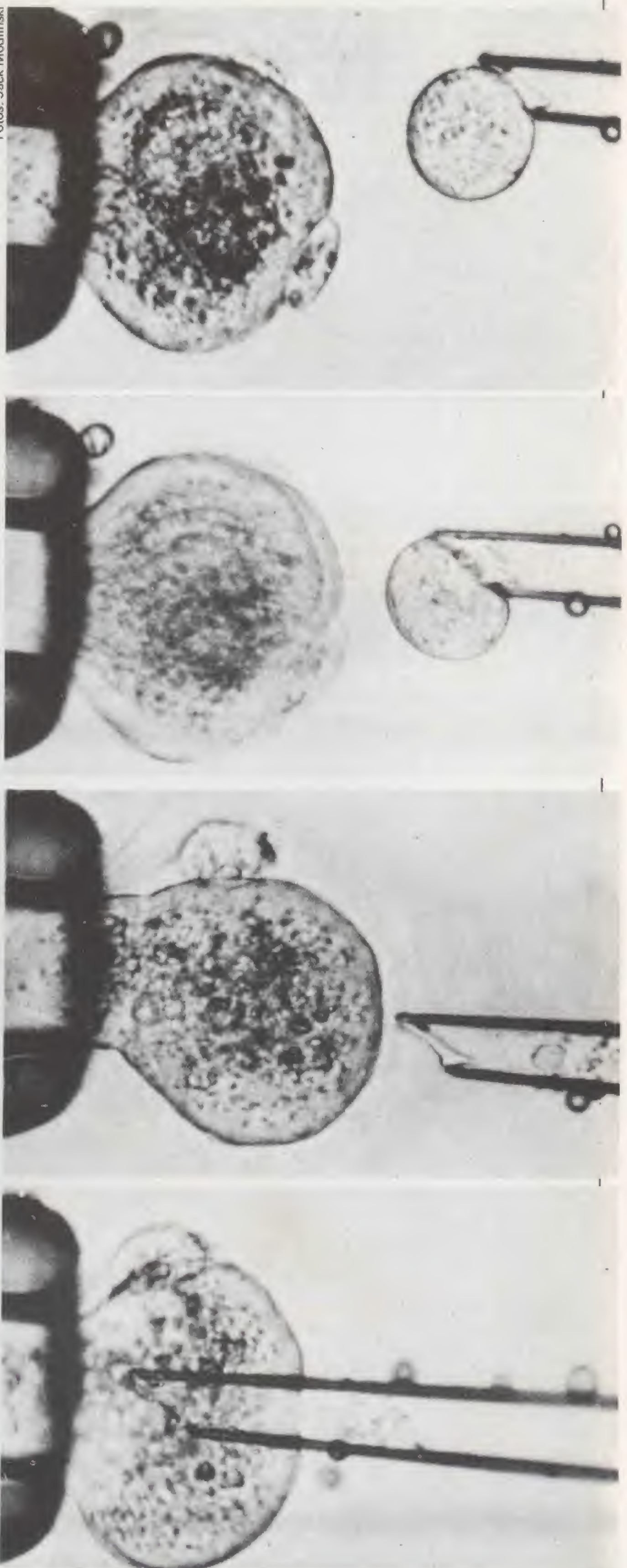
Futuro y peligros de la Ingeniería genética

En nuestros días la Ingeniería genética está considerada, junto con la Informática, como uno de los sectores más prometedores de la tecnología moderna. Se han constituido en todo el mundo sociedades para la aplicación industrial de estas técnicas, empresas que figuran entre las más dinámicas en el sector de la investigación y desarrollo. El número de patentes registradas en el sector de la Biotecnología crece de manera sustancial. Las aplicaciones biotecnológicas ocupan un espacio considerable en la planificación macroeconómica de los países modernos. Pero, ya desde su mismo nacimiento, se han alzado algunas voces que tratan de alertarnos sobre los posibles peligros de la Biotecnología. Algunas se han horrorizado sobre las consecuencias que podría tener para la salud pública la liberación al ambiente de microorganismos patógenos y resistentes a antibióticos que se utilizan en estas investigaciones; otras han planteado los problemas éticos que se derivan de la posibilidad de aplicar la Ingeniería genética a los seres humanos. Varios países han dictado normas estrictas de seguridad para los laboratorios de Biotecnología y estudian la elaboración de leyes que regulen su aplicación a nuestra especie. El debate seguirá vivo durante bastante tiempo.

Véase Herencia; Gen; Genética

La secuencia fotográfica que aparece al lado de estas líneas muestra la delicada serie de operaciones que se lleva a cabo cuando se desea trasplantar el núcleo de una célula a un óvulo previamente desprovisto de su propia dotación genética. En estos casos se utilizan micromanipuladores muy precisos y minúsculas pipetas de vidrio. La técnica del trasplante de núcleos es uno de los campos más prometedores de la Ingeniería genética.

Fotos: Jack Modlinski



E → su propio núcleo (óvulo enucleado) (B). La nueva célula-huevo clonada se divide en dos blastómeros (C), luego en cuatro y posteriormente en ocho (D); a continuación atraviesa varios estadios (E) hasta formar un renacuajo (F) y luego un individuo adulto (G), cuyas características son idénticas al animal donante del núcleo. Si se toman varias células intestinales de un mismo renacuajo y cada una se utiliza para dar un núcleo a un óvulo distinto, podrían obtenerse varios adultos idénticos, que se llamarían *clónicos*. Actualmente se cree que en breve la clonación podrá utilizarse a gran escala en la cría de animales domésticos.



Ingeniería oceanográfica

Existen barcos de más de 100 metros de longitud que, inundando sus tanques de lastre situados en la popa, pueden tomar una posición vertical sumergiendo la popa hasta dejar únicamente 17 metros de la proa fuera del agua. Se han construido barcos de notables dimensiones que transportan un equipo de perforación, parecido a una torre petrolífera, con el que pueden realizarse perforaciones de la corteza terrestre sumergida a las mayores profundidades oceánicas. Hay también sondas que pueden ser sumergidas a cualquier profundidad para tomar muestras del agua de mar filtrada, que luego traen hasta la superficie sin que dichas muestras resulten contaminadas por aguas de otras profundidades.

Estos son sólo algunos ejemplos de los sofisticados equipos que los investigadores utilizan para estudiar los ambientes submarinos de todo el mundo, y que no resultan menos extraños para el profano ni menos asombrosos que los empleados para el estudio del espacio interestelar. Dichas creaciones de la Ingeniería oceano-

gráfica nos han acercado a zonas del mundo submarino que hasta hace un cuarto de siglo parecían tan inalcanzables como la Luna.

El buque de investigaciones El equipo o sistema de equipos mayor y más complejo para la investigación submarina es el buque de investigaciones. En la práctica, es una gran base flotante capaz de permitir la realización de una enorme cantidad de estudios oceanográficos. Su equipo de investigaciones puede incluir embarcaciones especiales, como los batiscafos, y herramientas, como redes de arrastre para grandes profundidades. Además, a bordo de dichos buques se puede encontrar todo tipo de equipos e instrumentaciones necesarios para el estudio de los distintos campos de la Oceanografía, como laboratorios dotados de los instrumentos más modernos, ordenadores, acuarios y equipos fotográficos y de grabación. El buque oceanográfico tipo FLIP (*Floating Instrument Platform*), que es básicamente una boya alargada de unos 110

metros de longitud, capaz de sumergir verticalmente su popa manteniendo la proa fuera del agua, es un ejemplo límite de lo que puede llegar a ser un buque de investigaciones oceanográficas. Puede ser remolcado a cualquier lugar para, una vez allí, sumergirse y constituir una estación investigadora sumamente estable, particularmente adecuada para realizar cuidadosas mediciones acústicas. El FLIP en posición vertical alcanza una profundidad de casi 100 metros y, debido a su reducido diámetro, no es sensible a las olas de la superficie como sucede con un barco normal. Ello le permite realizar mediciones exactas de las propiedades del agua en una plataforma estable en mar abierto.

Durante un experimento de grandes proporciones realizado en aguas del Pacífico, el FLIP ha sido utilizado como punto de referencia en alta mar para controlar la propagación de las ondas de baja frecuencia procedentes del hemisferio austral. El FLIP fue estacionado al norte de las islas Hawai y su misión consistía en to-



mar datos relativos a las olas; al mismo tiempo se realizaban otras mediciones en otras muchas islas tanto en el hemisferio austral como en el boreal. Este importante estudio ha suministrado algunos de los primeros datos recogidos sobre la generación de las olas en aguas del Antártico y su posterior propagación a través de más de 13.000 kilómetros en una profunda cuenca oceánica.

Sumergibles Puede que los más fascinantes medios hasta ahora producidos por la Ingeniería oceanográfica sean los batiscafos, los cuales han supuesto la po-

A la izquierda, un buque arrastra sobre el fondo un vehículo especial que recoge muestras del fondo marino, en busca de nódulos metálicos (en el círculo se ve un ejemplo de nódulos de manganeso) para su aprovechamiento.

sibilidad de conocer el negro y frío mundo de las profundidades oceánicas. El primero de ellos fue el batiscafo *Trieste*, que en 1960 descendió a la profundidad récord de 10.912 metros.

Las embarcaciones destinadas a este tipo de exploraciones en las profundidades marinas deben llevar a bordo equipos completos que permitan la supervivencia de los investigadores y estar construidas de forma que puedan resistir las enormes presiones propias de tales profundidades (que llegan a superar magnitudes de hasta 7.000 kg/cm^2). Para que a esas profundidades los batiscafos tengan un empuje hidrostático nulo, en su construcción se emplea gran cantidad de materiales especiales: el casco de un batiscafo se construye normalmente con titanio o resinas sintéticas que engloban pequeñas esferas de vidrio, cerámica o plástico rígido. Todos estos materiales deben ser lo bastante resistentes como para soportar la compresión del agua y a la vez deben tener un peso específico bajo para que, en caso de emergencia, el batiscafo pueda volver a la superficie utilizando únicamente su capacidad de flotación.

Para profundidades menores, han sido desarrollados diversos tipos de vehículos sumergibles. Algunos de ellos carecen de cabina cerrada y los buceadores llevan su propio equipo de buceo. La mayor ventaja de este tipo de vehículos radica posiblemente en que pueden llevar una reserva de aire comprimido mayor de la que podría llevar el buceador por sí solo. Un submarino concebido para operar a lo largo de la plataforma continental puede sumergirse hasta profundidades de 300 metros; su cabina es perfectamente estanca y está equipado con potentes focos herméticos y con brazos mecánicos manio-brables desde el interior, con los cuales puede recoger muestras y realizar trabajos bajo el agua. Otro producto de la Ingeniería oceanográfica es el *scooter* o "moto" sumergible, que sirve para que el buceador pueda desplazarse bajo el agua con mayor velocidad y radio de acción.

Problemas y soluciones Seguramente el mayor problema que la Ingeniería oceanográfica debe afrontar es el que se deriva de la enorme presión hidrostática que han de soportar los objetos sumergidos a grandes profundidades. Sin embargo, existen otros muchos problemas importantes, como por ejemplo compensar las oscilaciones debidas a las olas, la intensidad de las corrientes y la enorme fuerza de las tormentas en alta mar.

Una posible solución es la ofrecida por las plataformas con apoyos telescópicos que se asientan sobre el fondo. A lo largo de los últimos años tales plataformas han experimentado un notable desarrollo, no sólo para su aplicación en investigaciones oceanográficas, sino también para prospecciones y perforaciones petrolíferas. ¿Qué problemas se presentan en una plataforma fondeada en pleno océano a una profundidad que puede ser incluso supe-

A la derecha, el submarino *Deep View*, cuyo casco tiene una parte de vidrio resistente; abajo, el *Nemo*, realizado totalmente en material acrílico. Los submarinos para grandes profundidades disponen normalmente de una parte o de todo el casco construido con material transparente y son, por lo tanto, adecuados para realizar múltiples tipos de misiones de observación en fondos profundos. Dichos sumergibles constituyen el banco de pruebas de la tecnología oceanográfica, que se dedica a poner a punto medios de investigación en ambiente submarino.



rior a los 3.000 metros? En este caso la respuesta se encuentra en una fascinante serie de equipos y estructuras proyectados y unidos para mantenerse dentro de límites de movimiento muy restringidos sobre un determinado lugar del fondo oceánico. La *Glomar Challenger*, nave oceanográfica desarrollada para llevar a cabo perforaciones de la corteza terrestre en los fondos oceánicos, puede mantener su posición durante un período casi indefinido, independientemente del viento, de las corrientes y de las condiciones meteorológicas. El barco es capaz de mantener su posición utilizando secuencias de señales acústicas que producen un haz constante de referencia recibido en la superficie. Un complejo sistema electrónico se encarga, en fracciones de segundo, de interpretar dichas señales y de activar cuatro unidades propulsoras especiales y el eje de la hélice principal del barco, que de esta forma puede desplazarse en cualquier dirección. La acción de las olas es compensada por un sistema automático de estabilización controlado mediante giroscopios, todo ello evita la ruptura de las kilométricas tuberías de perforación utilizadas. La

conjunción de todos estos sistemas permite mantener al *Glomar Challenger* dentro de un área de 30 metros de radio alrededor de una posición prefijada.

La Ingeniería oceanográfica ha permitido, además, aumentar la profundidad a la que pueden descender los buzos; los científicos pueden trabajar actualmente a profundidades superiores a los 600 metros. Detectores electrónicos y sistemas de comunicaciones submarinos han sido perfeccionados en gran medida con la introducción de los ordenadores, de forma que puede obtenerse, almacenarse e interpretarse una gran cantidad de datos, ampliándose de este modo las posibilidades de los sistemas de instrumentos sumergibles controlados a distancia.

La Oceanografía es una ciencia joven y hasta ahora no ha hecho más que iniciar el conocimiento de los "tesoros" que ofrecen las profundidades oceánicas. Una de las perspectivas más interesantes consiste en la "creación" de un ambiente submarino donde los científicos puedan moverse con cierta libertad, independientemente de los equipos de buceo. Experiencias de permanencia submarina durante largos períodos han sido ya realizadas, obteniéndose resultados prometedores. Las industrias dedicadas a las perforaciones petrolíferas en mar abierto han contribuido con la aportación de gran cantidad de datos y experiencias de trabajo.

El fondo del océano tiene mucho que ofrecer en lo que se refiere a recursos naturales, que podrían ser alcanzados mediante galerías submarinas y otros tipos de construcciones. Una cueva perforada artificialmente en el fondo marino y conectada con un pozo presurizado al que pueden ser amarrados vehículos submarinos podría ser un punto de partida para el aprovechamiento de las riquezas minerales de las profundidades oceánicas, hasta ahora fuera del alcance del hombre.

Véase **Biología marina; Buque oceanográfico; Oceanografía**

Injerto

Si tenemos dos manzanos, pero sólo uno de los dos da fruto, se puede coger una rama de uno y hacer que crezca sobre el tronco del otro; el resultado será que habrá manzanas en los dos árboles. Esta es sólo una de las ventajas que se pueden obtener de un *injerto*, mediante el cual el tejido joven de una planta se une al tejido más viejo de otra. El árbol que se injerta, dotado de raíces, recibe el nombre de *portainjerto* (patrón o sujeto). La parte injertada, o *injerto* (u objeto), puede ser una rama (púa) o una yema, de tejido joven y sano. El injerto producirá hojas y frutos similares a los de la planta a la que pertenecía, y al mismo tiempo tendrá un vigor parecido al del patrón. Los órganos vegetales se injertan con gran facilidad, mientras que los animales sólo se pueden transplantar si se toman muchas precauciones.

La importancia del cambium En el injerto vegetal, el patrón y el injerto se cortan de manera que el extremo de este último crezca dentro del primero. El cambium de las dos plantas tiene que estar en contacto directo para conseguir que crezcan juntas. El *cambium* es una capa de células situada entre la corteza y el xilema maduro o leño propiamente dicho, donde se produce crecimiento. Los árboles crecen en grosor gracias a la actividad del cambium. En las zonas donde hay alter-

nancia estacional, la labor del cambium se puede apreciar claramente en los anillos de crecimiento del tronco. El cambium es el tejido vegetal que más deprisa crece, más aún que las raíces y las yemas. Produce el *parénquima celular*, un tejido blando con finas estructuras de sostén que forman las plantas para cicatrizar las heridas. Cuando se hace un injerto, el cambium de ambas plantas reacciona ante el corte como si estuvieran heridas, y genera células parenquimáticas. Después estas células forman una sola capa de crecimiento, produciendo así la ligazón entre el patrón y el injerto.

El injerto se suele realizar para lograr que una planta sea más fructífera, para ayudar a dos individuos de una especie a luchar contra las enfermedades y parásitos, para revigorizar una planta o simplemente para mejorar los frutos. Un injerto tiene más posibilidades de éxito si las plantas son bastante parecidas. Las plantas también reaccionan si hay incompatibilidades entre ellas, como ocurre con los trasplantes humanos. El injerto puede realizarse entre individuos de una misma especie, caso en que se denomina *homogéneo* o *normal*, o bien entre individuos de distinta especie, y entonces se llama *heterogéneo* (melocotonero sobre almendro, olivo sobre fresno). Un naranjo, por ejemplo, se puede injertar con muchos tipos de naranjos, pero no con manzanos. A veces

se puede superar la incompatibilidad entre patrón y objeto recurriendo a un *sobreinjerto*, que consiste en elegir una tercera planta que sea compatible con las otras dos; dicha planta se injerta en el patrón, y sobre ella se injerta el objeto deseado. El injerto procedente de cierto tipo de manzano siempre producirá la misma clase de manzanas, si bien los frutos podrán madurar antes o ser más sanos cuando crecen en otro patrón. Gracias a la técnica del injerto, hay manzanos que pueden producir frutos de distintas variedades que no maduran al mismo tiempo, o pueden dar cosechas en distintos períodos del año. Además, plantas delicadas como la vid de uva sin semillas o los naranjos de naranja sin semillas no llegan a madurar si no se injertan en patrones más robustos.

Tipos de injerto Los distintos tipos de injerto se basan siempre en el mismo principio: unir las capas de cambium de las dos plantas.

Se puede hacer una primera clasificación de los injertos según la forma de efectuarlos: tenemos así injertos por aproximación, de púa y de yema. Se recurre a los injertos *por aproximación* cuando no se puede utilizar ninguna de las otras formas; en este caso hay que cultivar las dos plantas próximas entre sí. Consiste en quitar algunos centímetros de corteza del pa-



Las flechas que hay bajo estas líneas indican los nombres de los tipos más corrientes de injerto. Estos se diferencian por la forma del objeto y su inserción en el patrón. A la izquierda, injerto por aproximación; el injerto y el patrón se doblan ligeramente y en la convexidad de la curva se elimina el casquete elíptico, lo que deja una superficie plana. Entonces se apoyan las dos superficies y se

mantienen en contacto con una ligadura de rafia; a continuación se corta la parte aérea del patrón. Abajo, injerto de yema. El injerto es una yema que se ha sacado mediante un corte limpio y plano de su rama, junto con un poco de corteza. El tronco del patrón se prepara con un corte en forma de T en la corteza, en el que se abren los labios

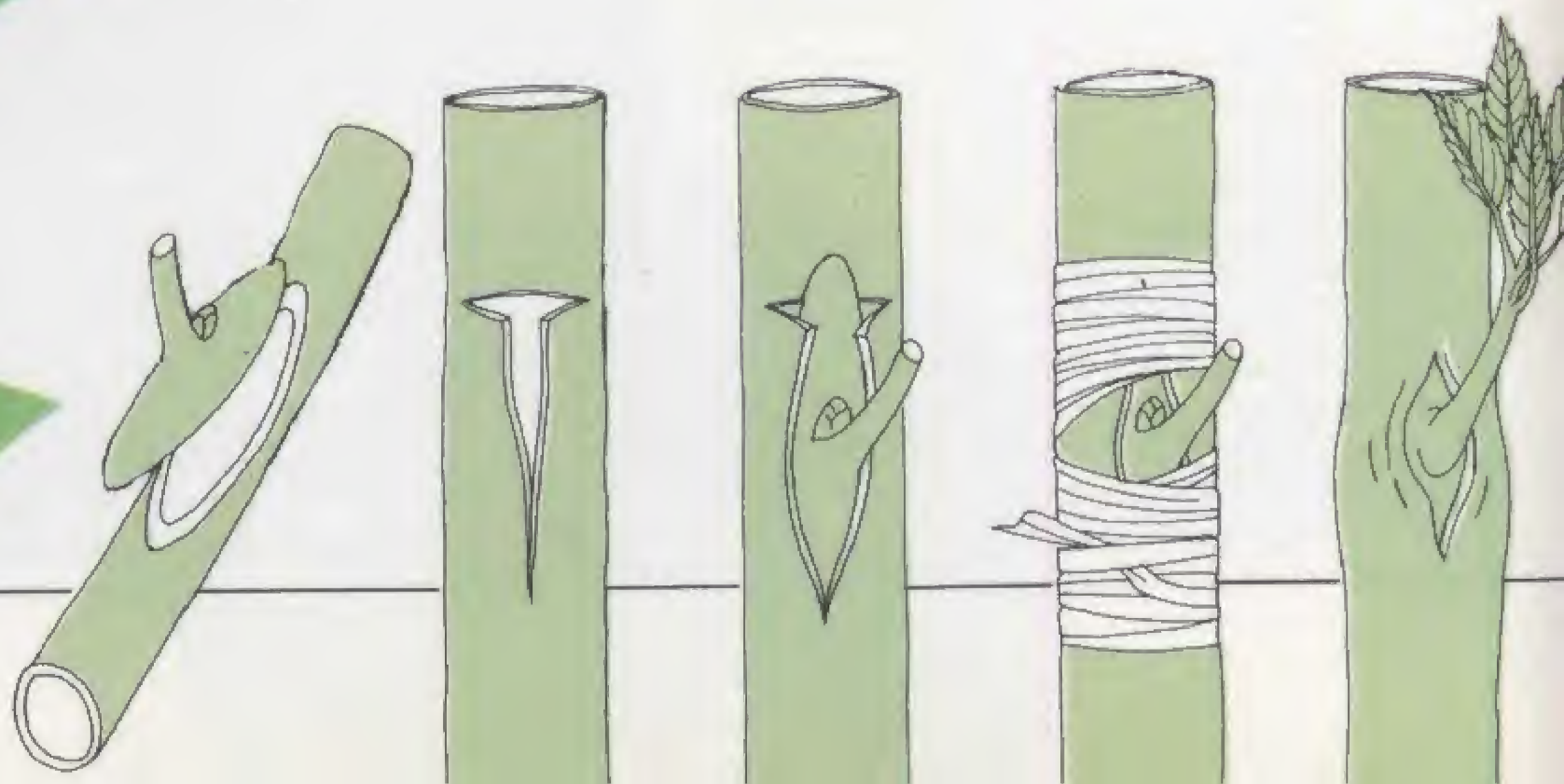
inferiores hacia afuera para introducir el escudete. La parte superior de este último sobresale de la cabeza de la T, y se corta; una ligadura posterior sella

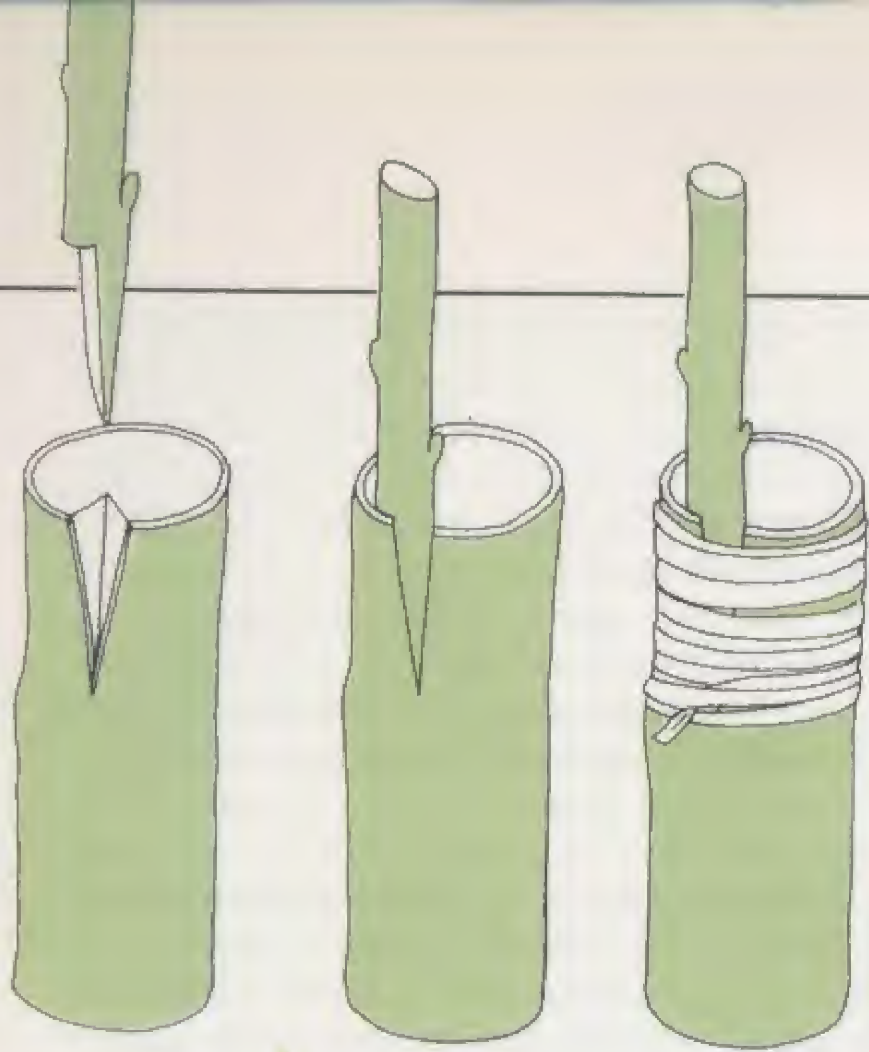
el tronco y lo sujeta a la yema. A la derecha, el injerto tras la cicatrización del corte (el tronco del patrón se ha cortado por encima del injerto).

INJERTO
POR APROXIMACION

DE YEMA

DE PUA





A la izquierda, injerto de hendidura embutido: parte del leño del patrón se quita para dejar sitio al objeto. Abajo, injerto de corona: la púa se saca de una rama en cuya base se ha hecho un corte en forma de V. El patrón se ha cortado, y la corteza de la cabeza se ha abierto para acoger las púas. En esta cabeza se han colocado dos, pero también se pueden introducir más.

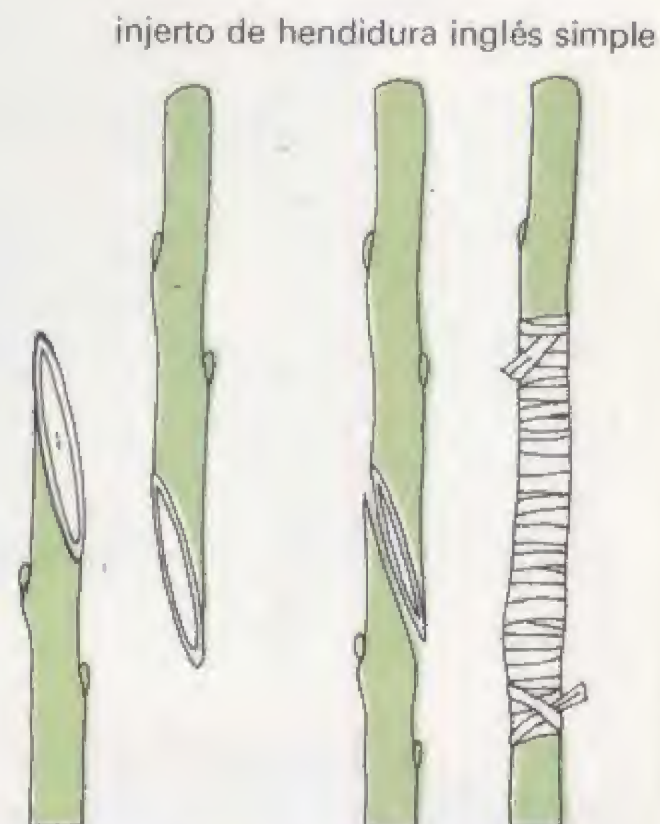
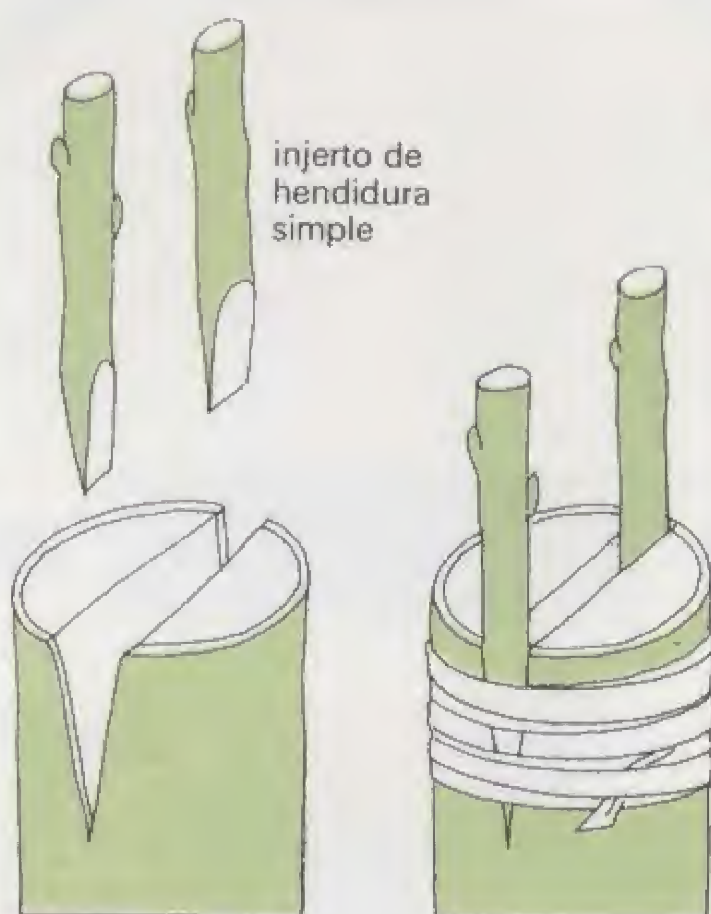
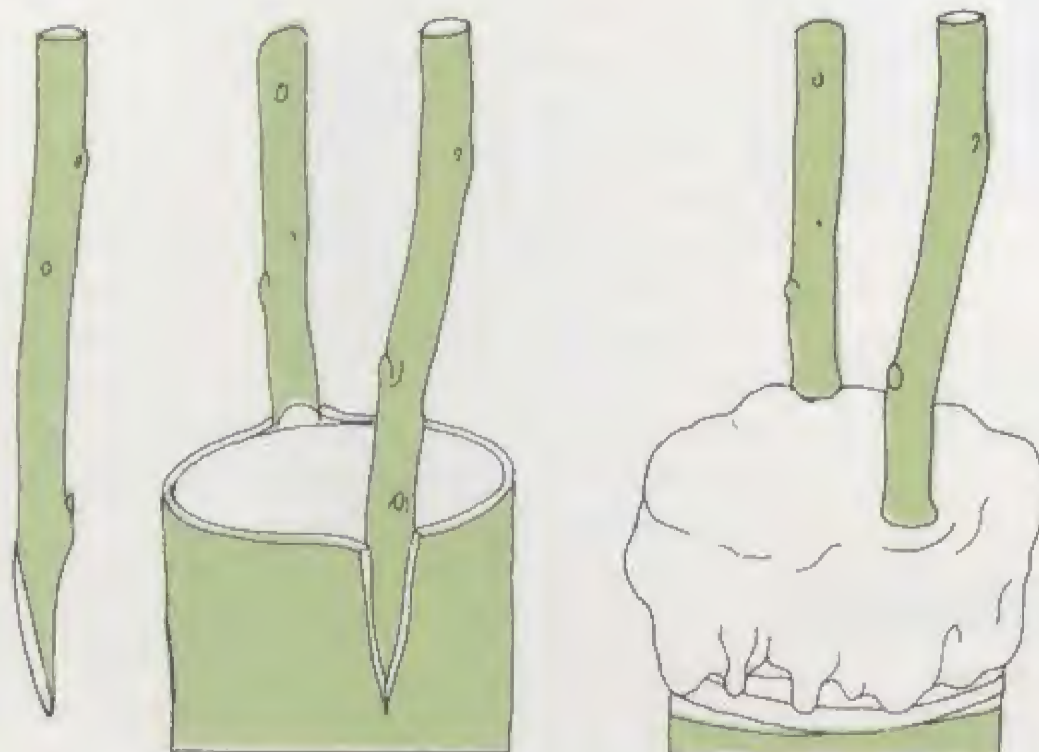
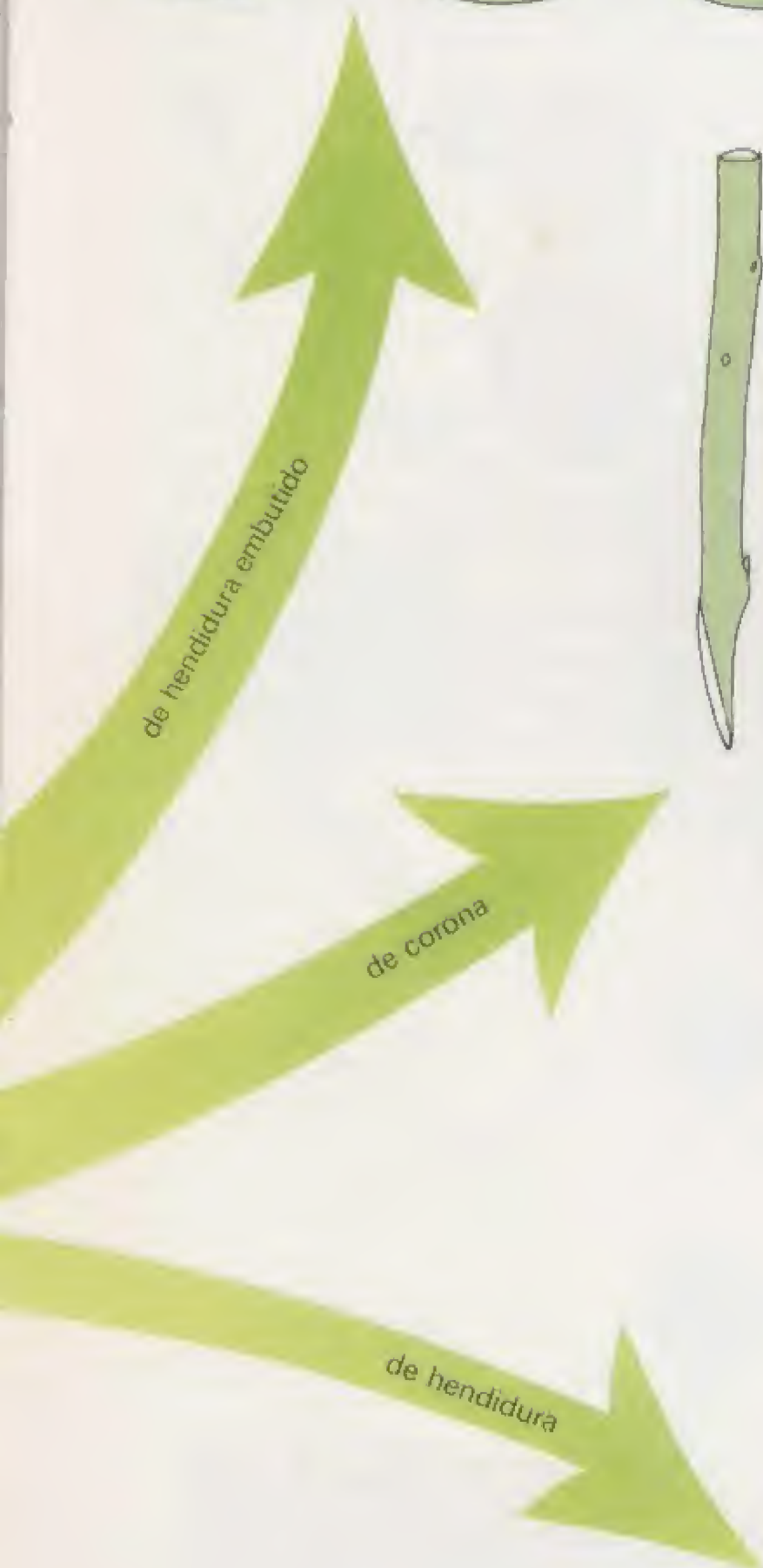
Después de haber insertado las púas, se ligan, y la cabeza del patrón se cubre con pez para protegerla. Más abajo, un injerto de hendidura simple en el que la cabeza del patrón, una vez cortada, se inserta en el sentido del diámetro para acoger las púas. También en este caso se liga y se cubre de pez, betún, cera o cemento rápido (aunque es mejor con resina vegetal).

trón y del injerto, hasta el cambium, y en hacer coincidir las dos partes, ligándolas.

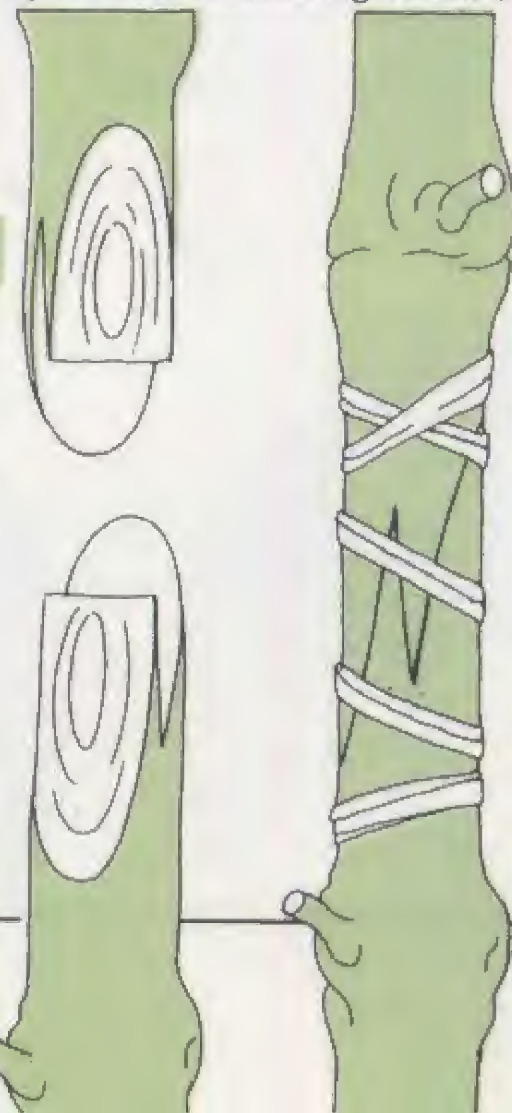
Los injertos de púa utilizan como objeto una ramita de 4 a 8 cm de largo (púa) que lleva una o varias yemas; se usa de diversas formas: de hendidura, de corona, de asiento, de puente y de celda. El injerto de púa se puede efectuar en primavera o en otoño. El injerto de yema o de escudete está formado por una sola yema rodeada de una pequeña porción de corteza, cambium y leño (escudete) que se introduce bajo la corteza del patrón, de manera que sólo aparezca la yema.

La mayor parte de los injertos se hace al final del invierno o a principios de primavera porque es cuando prenden en seguida gracias a la increíble recuperación vital que experimentan las plantas en esa época. No obstante, algunos injertos (por ejemplo, los de ojo durmiente, como en el caso de los rosales) se realizan más adelante, de julio a septiembre. La zona de la incisión se cubre con cera, pez o cinta adhesiva para impedir que el nuevo tejido se seque y para defenderlo contra los hongos, insectos u otros agentes nocivos.

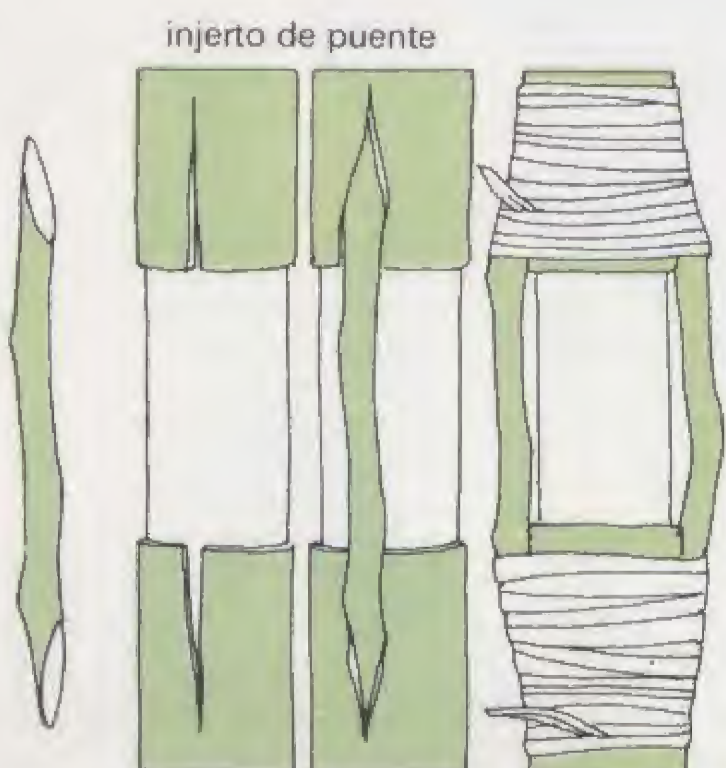
Véase **Arbol; Botánica; Clorofila; Fertilizantes; Fruto y árboles frutales; Híbridos; Jardinería y horticultura; Plantas; Plantas, enfermedades de las; Poda**



injerto de hendidura inglés doble



En el injerto de puente (a la derecha), el flujo de la savia del tronco tiene que pasar forzosamente por las púas. Más a la derecha, un injerto de silleta, en el que el objeto tiene que tener el mismo diámetro que el patrón y los bordes del corte tienen que ser un poco flexibles para pegarse perfectamente. Más a la derecha, injerto de hendidura inglés: el de arriba es simple, y el de abajo, doble (antes y después de la ligadura); para este último, el corte tiene que ser muy preciso.



Injerto (medicina)

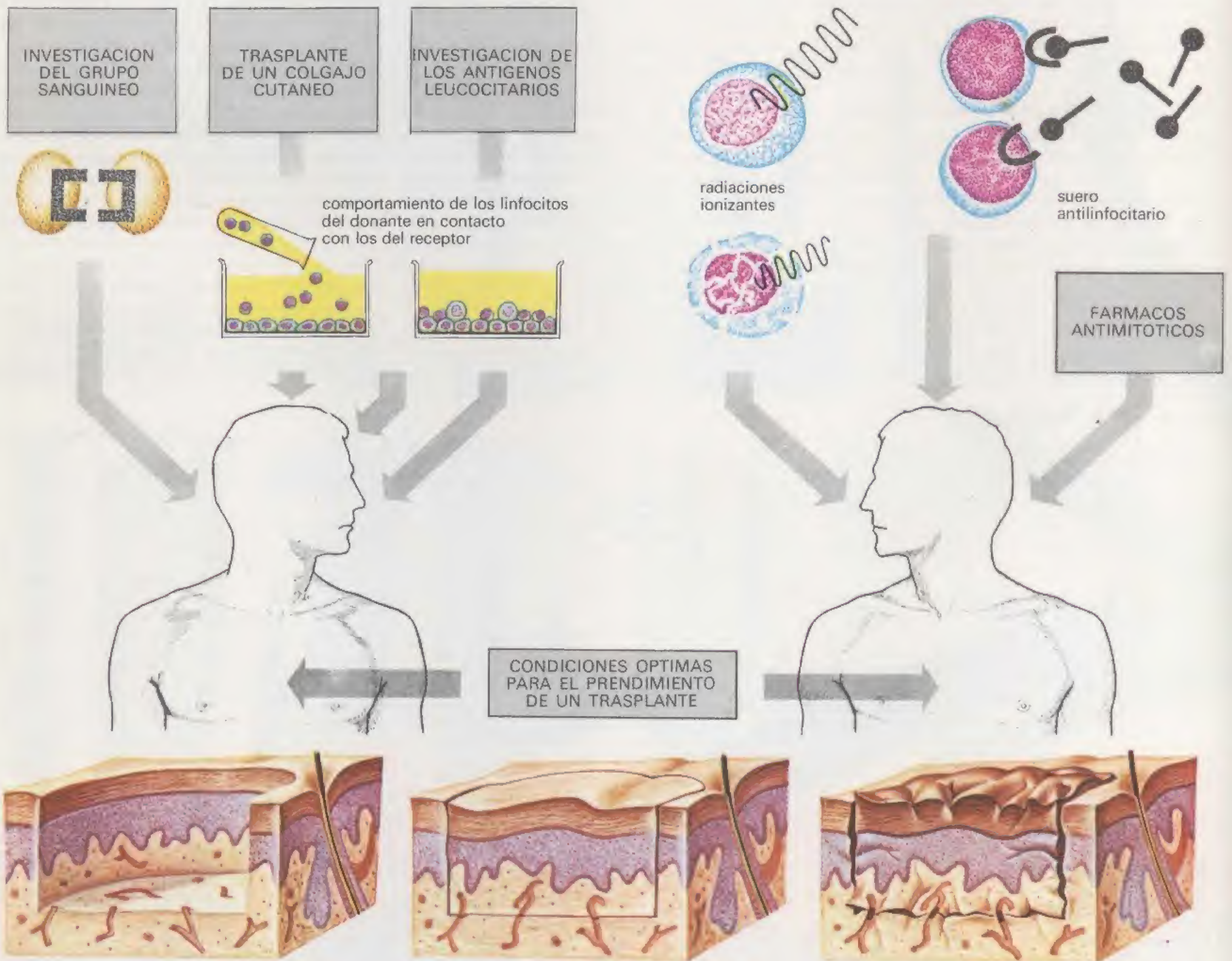
Imaginemos que entramos en un "banco de órganos" y pedimos: "Tres centímetros de piel, por favor". Esta escena quizá no se producirá nunca en la realidad, pero los médicos del futuro serán capaces de sustituir, sin duda, cualquier parte lesionada de nuestro organismo.

El injerto, la sustitución de cualquier parte del cuerpo con otra que cumpla la misma función, pertenece a un campo de la Medicina en permanente investigación, en donde cada progreso contribuye a salvar y a mejorar muchas vidas humanas.

El injerto perfecto La finalidad de un injerto es sustituir el tejido lesionado o en-

fermo por un tejido sano, capaz de prender primero y funcionar después como parte normal del cuerpo. En teoría, el nuevo tejido se coloca simplemente mediante una intervención quirúrgica y, con los procesos naturales de cicatrización, se suelda al resto del organismo. Sin embargo, en la realidad pueden surgir enormes dificultades. El principal problema es que el cuerpo humano opone resistencia a la invasión por parte de cualquier sustancia extraña, fenómeno que suele dar lugar al rechazo del injerto a través de las reacciones del sistema inmunitario, el mismo sistema que nos defiende contra las infecciones.

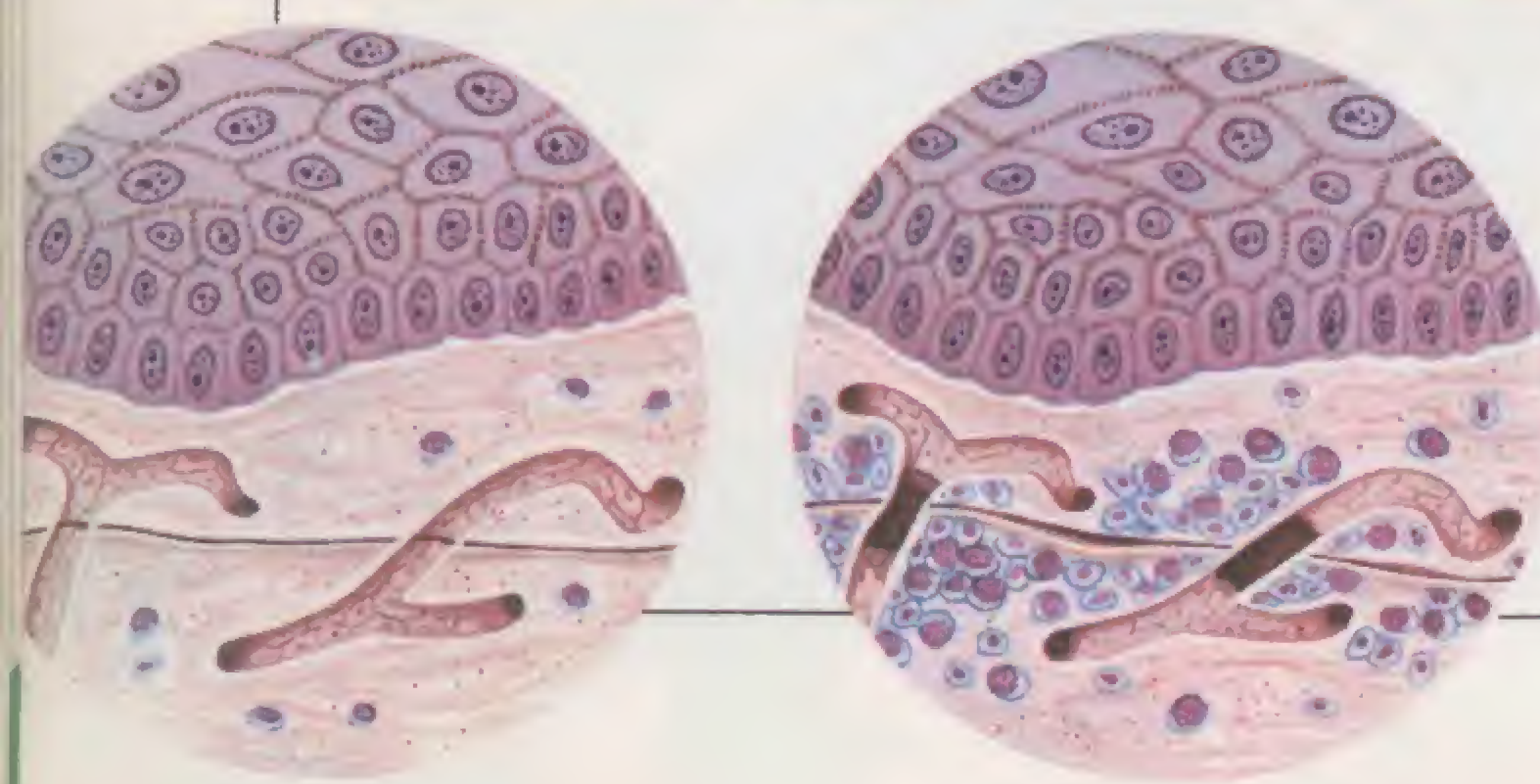
Un protector desorientado En condiciones normales, el sistema inmunitario es absolutamente necesario para protegernos contra las enfermedades, dado que su acción consiste en la eliminación del organismo de todas las sustancias extrañas que puedan ser dañinas. Desgraciadamente, este sistema actúa también en los casos de injertos como si éstos fueran sustancias dañinas. Muy numerosas han sido las investigaciones sobre los métodos para disminuir la reacción inmunitaria y conseguir que el organismo acepte más fácilmente los injertos. Los fármacos y las radiaciones han sido utilizados como tratamientos inmunosupresores temporales,



En la página siguiente, arriba, esquema del desarrollo del mecanismo de rechazo de un trasplante. Por efecto del timo, las células-madre de la médula ósea se diferencian en linfocitos T y B. La exposición a los antígenos provoca una interacción entre las células T y B. La elaboración de mediadores

secundarios origina lesiones vasculares. Los linfocitos T activados son las células efectoras primarias de la inmunidad mediada por células (CMI), y pueden reaccionar con los antígenos del trasplante ejerciendo un efecto citotóxico. Por otra parte, los factores de liberación celular, como el factor de inhibición de la

migración de los macrófagos (MIF), pueden acelerar la infiltración de las células mononucleares. Arriba, demostración de la naturaleza inmunológica del rechazo: 1), el segundo injerto del mismo donante es destruido de forma más rápida que el primero; 2) se demuestra que la inmunización no es



pero son tratamientos arriesgados, puesto que dejan al organismo del paciente expuesto al ataque de otras enfermedades. Existen mayores probabilidades de resultados positivos con injertos procedentes de parientes próximos del paciente (que el sistema inmunitario reconoce como menos "extraños") o en los realizados con materiales sintéticos, ya que es posible que no desencadenen ninguna reacción inmunitaria.

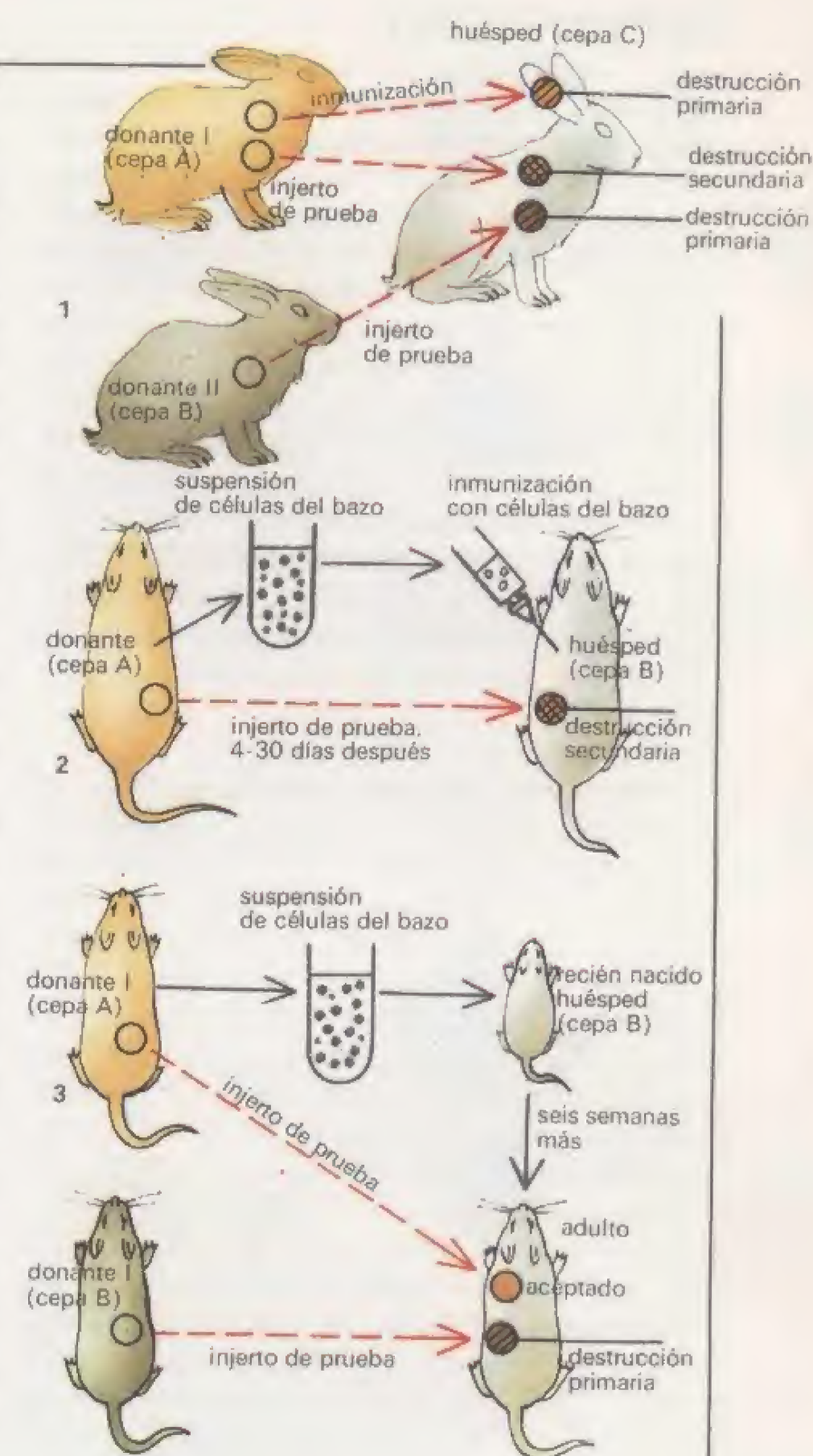
Probar un injerto Los injertos que mayores éxitos proporcionan son los *autoinjertos*, es decir, aquéllos en los que el receptor (el paciente) es a la vez el donante (el que proporciona el tejido sano). Este hecho es más simple con los injertos cutáneos, dado que la piel sana de una parte del cuerpo puede ser transferida a una herida en otra parte y ser fácilmente aceptada por el organismo. Cuanto mayor es la diversidad entre el receptor y el donante, tanto menores serán las probabilidades de que el injerto sea aceptado. Sea como fuere, el organismo humano emplea algunos días en rechazar la piel extraña y, con frecuencia, durante ese tiempo el cuerpo ha sido capaz de reconstruir una piel propia nueva.

Los trasplantes de órganos son operaciones de injerto más complejas; entre los trasplantes de mayor éxito figura el de riñón, que ha llegado a ser casi una práctica habitual. Los trasplantes de órganos en los gemelos (monoovulares idénticos), llama-

dos *isoinjertos*, tienen las mismas probabilidades de éxito que los autoinjertos.

Injertos sintéticos Una importante fracción de la investigación sobre injertos se ha dedicado a la creación de materiales sintéticos. Se estudian éstos en orden a conseguir todas las propiedades físicas del tejido que va a ser sustituido y evitando provocar una reacción inmunitaria en el organismo. La cerámica ha sido utilizada para sustituir huesos en su totalidad o partes de huesos. Líquidos sintéticos han sido empleados en la sustitución de la porción líquida del bulbo ocular y en la creación de sangre artificial. Injertos de estructuras retiformes se utilizan para sustituir porciones de la pared abdominal. Distintos tipos de piel artificial han dado buenos resultados: uno de ellos está constituido por una membrana desarrollada con células obtenidas del propio paciente; otro tipo está formado por una membrana de plástico que imita los estratos de la piel natural, y que se disuelve a medida que el organismo la va sustituyendo por piel nueva. Los productos químicos sintéticos han logrado ya imitar proteínas, enzimas y sus reacciones químicas. Aunque muchos problemas quedan todavía por resolver, es posible que el día en que podamos entrar en un "banco de órganos" en demanda de alguno no esté excesivamente lejano.

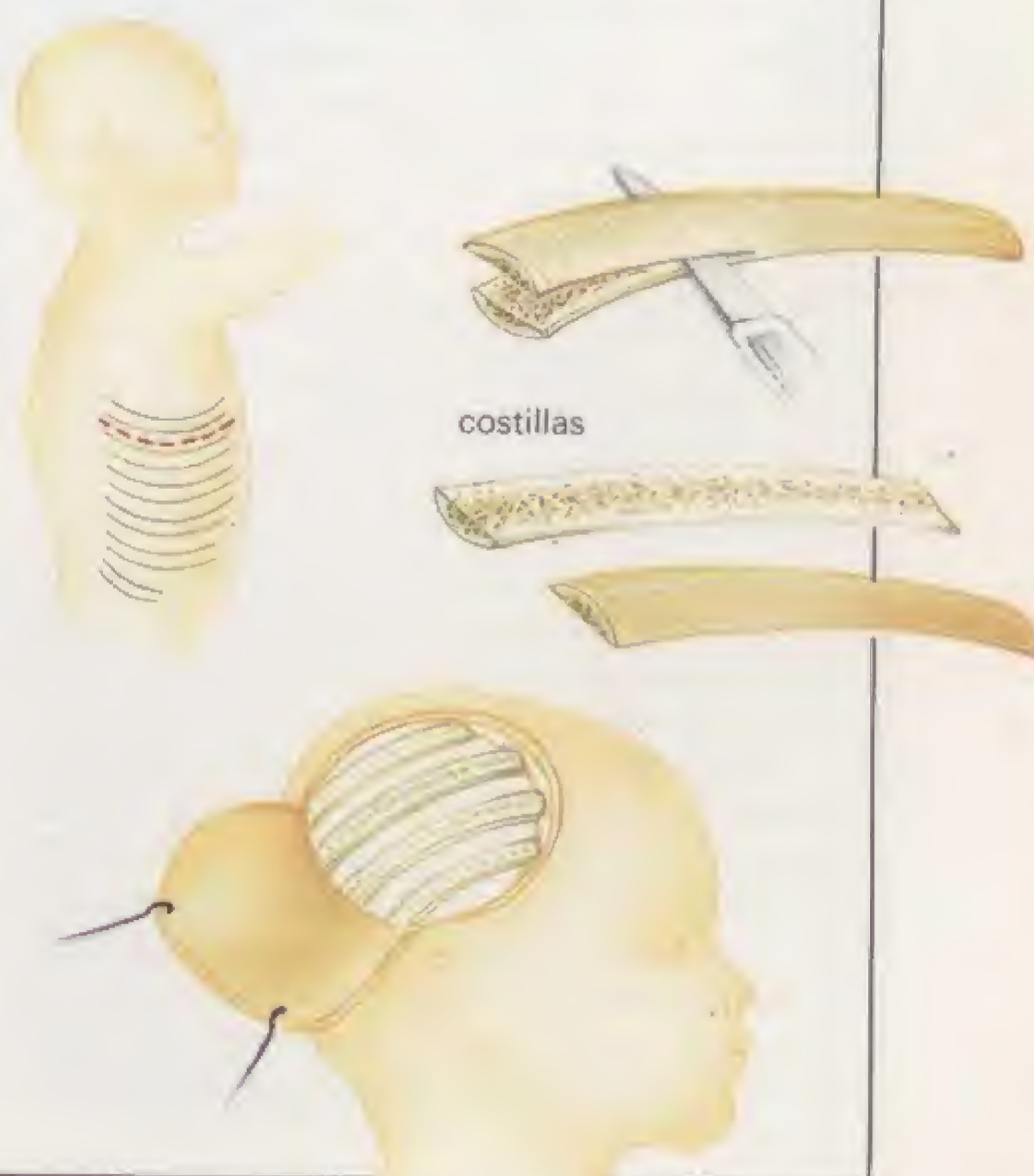
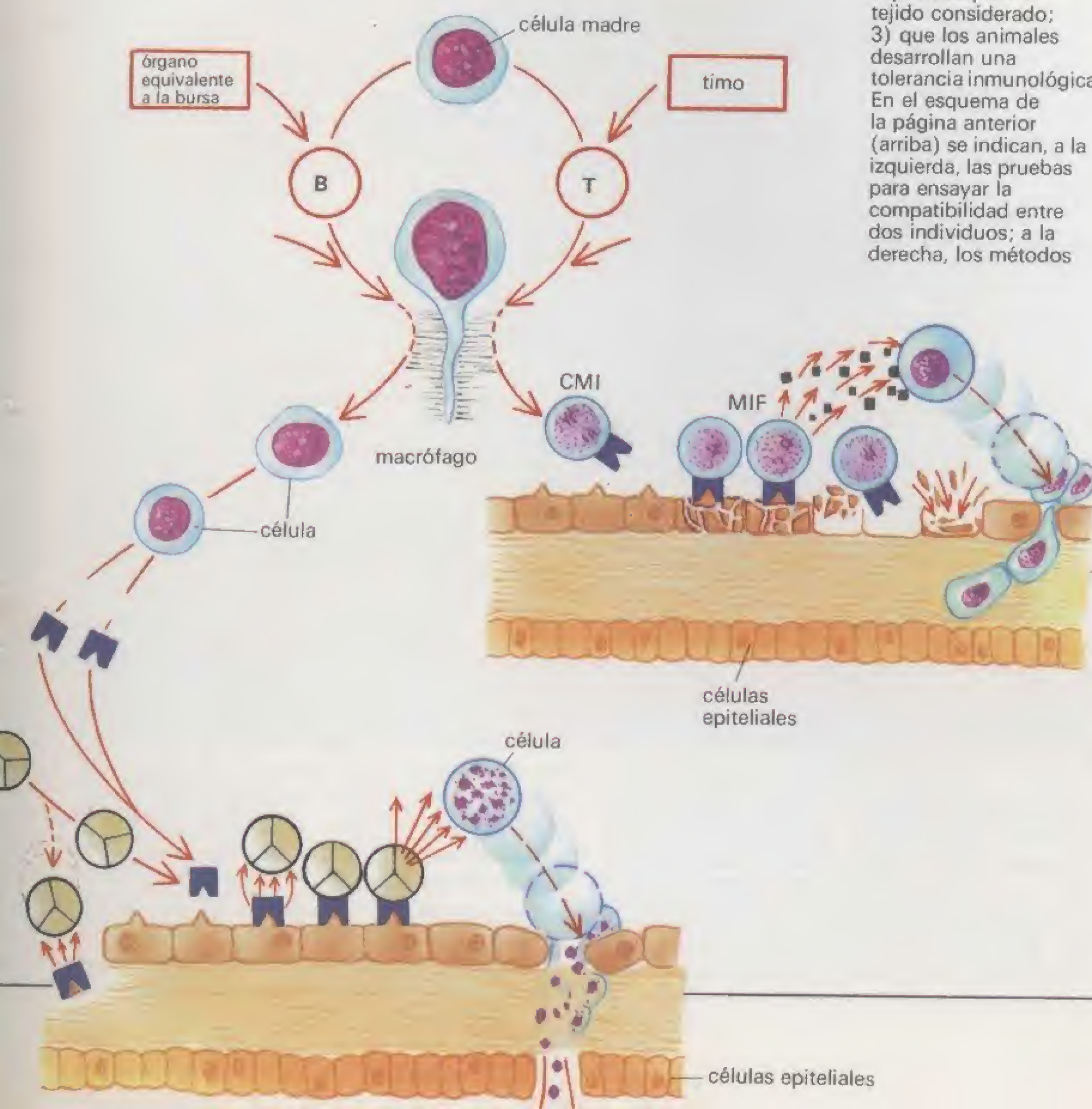
Véase **Bioingeniería; Órganos, banco de; Órganos artificiales; Trasplante de órganos**



→ específica para el tejido considerado; 3) que los animales desarrollan una tolerancia inmunológica. En el esquema de la página anterior (arriba) se indican, a la izquierda, las pruebas para ensayar la compatibilidad entre dos individuos; a la derecha, los métodos

utilizados para vencer la barrera inmunológica del sujeto receptor. Debajo, de izquierda a derecha, esquema de colgajos cutáneos utilizados para un injerto. Inicialmente se produce una unión normal, a la que sucede, sin embargo, una infiltración celular

con caída del injerto. A la izquierda, más abajo, imágenes amplificadas de las zonas de contacto entre la piel y el colgajo trasplantado. Bajo estas líneas, utilización de fragmentos de costillas para efectuar intervenciones de craneoplastia en niños.



Inmunidad

Un primer y frustrado intento de comprender cómo funciona el sistema inmunitario del hombre reveló de modo sorprendente nuestros delicados mecanismos defensivos. Según el filósofo francés Voltaire, en Asia, en el siglo XV, las personas aún sanas trataban de protegerse contra la viruela aspirando el contenido de las pústulas de sus convencinos menos afortunados. Este sistema mostró ser más peligroso que útil, ya que muchas de estas primitivas autovacunas condujeron a la muerte. Sin embargo, esta actitud refleja los principios básicos de los mecanismos inmunitarios: el organismo debe ser amenazado para poder defenderse.

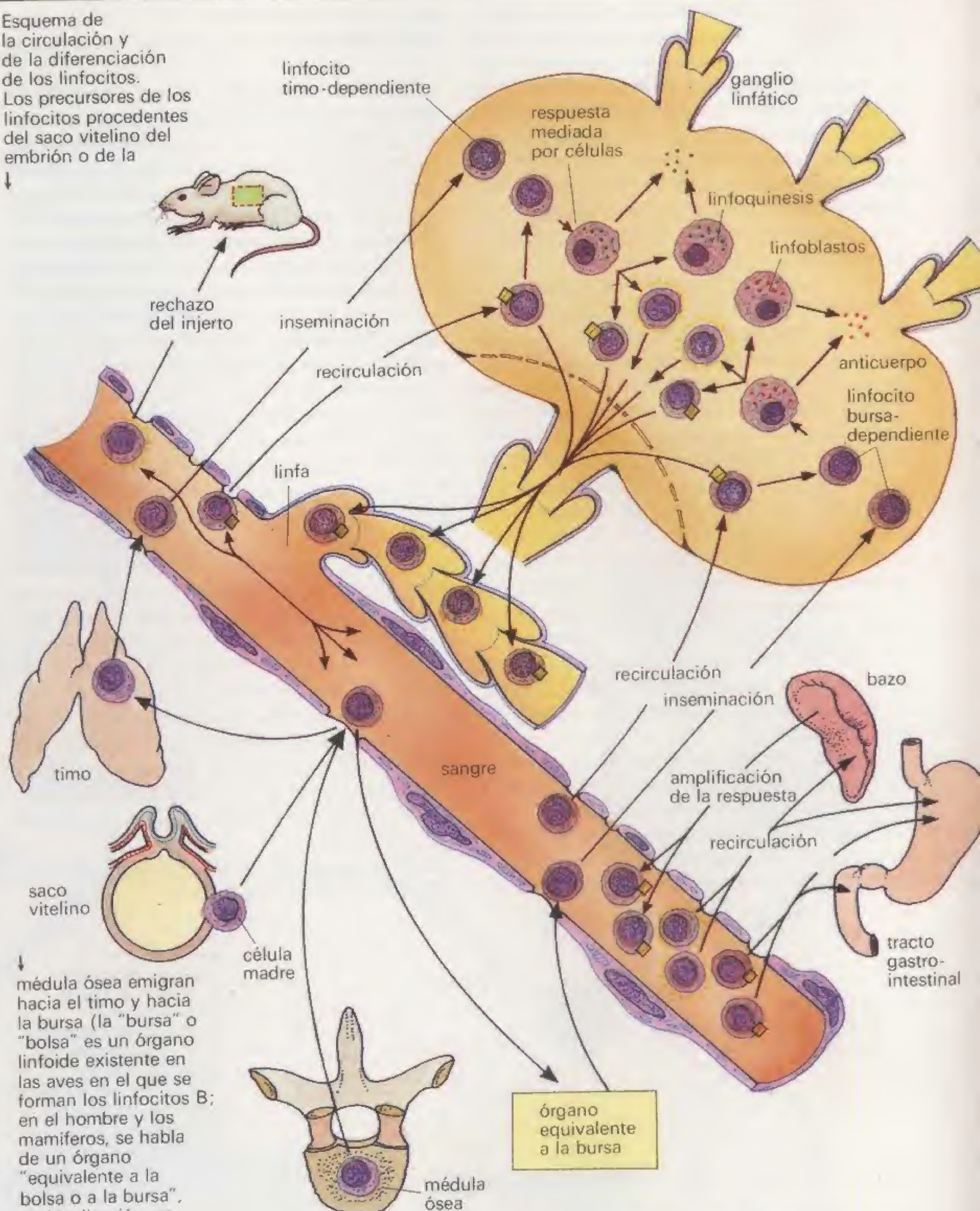
Tipos de reacción inmunitaria La inmunidad, desde el punto de vista fisiológico, indica el modo con el que el organismo se defiende de la invasión por sustancias extrañas, como los virus, las bacterias y las toxinas (venenos) producidos por algunos microorganismos. La *inmunidad* es, por definición, la capacidad de nuestro organismo para construir un adecuado sistema defensivo, en breve o largo plazo según el tipo de ataque, tanto se trate, por ejemplo, de viruela, como de sarampión. Con frecuencia se piensa que las reacciones inmunitarias se limitan a las sustancias extrañas; sin embargo, pueden darse también como respuesta a un tejido ajeno (como es el caso de los trasplantes de órganos), a las células cancerosas y algunas veces a sustancias producidas precisamente en nuestro propio organismo, como es el caso de las enfermedades autoinmunes.

Las principales armas del sistema inmunitario son las *defensas celulares* y las *humorales*. La unidad básica de las primeras es un tipo especial de glóbulo blanco sanguíneo que se denomina *linfocito T*. Esta célula es capaz de atacar a las sustancias extrañas y posee la peculiaridad de atraer — mediante la secreción de unas especiales sustancias de reclamo llamadas *linfoquinas* — otras células defensivas aún más agresivas, los *macrófagos*, que terminan las reacciones de defensa devorando las sustancias extrañas. Otra misión de las células intermediarias es la activación o la supresión de los anticuerpos.

El sistema de anticuerpos Las otras unidades básicas del sistema inmunitario son los *anticuerpos*, que pueden ser definidos como "armas defensivas" presentes en el torrente circulatorio. Los anticuerpos, proteínas llamadas *inmunoglobulinas*, son moléculas complejas producidas por los ganglios linfáticos y el bazo.

El *antígeno* es la molécula, o partícula, extraña que invade el organismo. Todos los antígenos, ya sean virales, bacterianos o tóxicos, contienen una sustancia química, llamada *determinante antigénico*, que hace único en su género a cada tipo de antígeno, como una huella dactilar, y por la cual existen anticuerpos específicos capaces de atacarlo.

Esquema de la circulación y de la diferenciación de los linfocitos. Los precursores de los linfocitos procedentes del saco vitelino del embrión o de la



diferenciación antígeno-dependiente. En este esquema se observan especialmente los linfocitos efector B y T, que propagan la respuesta inmunitaria en el organismo. En el cuerpo humano tiene lugar un intercambio continuo de linfocitos entre las distintas localizaciones del sistema inmunitario.

Después de penetrar en el organismo, los antígenos pasan habitualmente a través de la circulación sanguínea. Más pronto o más tarde se verán obligados a atravesar un ganglio linfático o el bazo, donde sus características serán "leídas" por otro glóbulo blanco especializado de la sangre, el *linfocito B*. De una manera todavía no bien conocida, este linfocito descifra la estructura química y la composición del determinante antigénico. Después de haber efectuado estos preliminares, el lin-

focito se transforma en una célula capaz de dividirse y duplicarse.

La producción de anticuerpos La actividad autorreplicativa del linfocito tiene lugar a una velocidad sorprendentemente grande, y las nuevas células formadas son linfocitos con capacidad de reaccionar contra el antígeno que ha provocado la transformación del linfocito de partida. Estas nuevas células son también capaces de reproducirse por sí mismas y su número se incrementa de un modo vertiginoso. Una parte de ellas se transforma en células plasmáticas, que producen los anticuerpos, mientras que la otra parte continúa fabricando linfocitos "de ataque". Las células plasmáticas producen los anticuerpos específicos contra el antígeno que ha sido captado y "leído". Estos anticuerpos entran en el torrente sanguíneo y luchan contra el antígeno en un mortal "cuerpo a cuerpo" químico: en efecto, cada anticuerpo posee una estructura única

que se une químicamente con el antígeno y lo inactiva. En consecuencia, los anticuerpos "agarran al enemigo por la espalda" y no lo sueltan, neutralizando de este modo su capacidad para hacer daño a nuestro organismo e impidiéndole moverse. Si la invasión ha sido muy extensa, los anticuerpos serán producidos en muchos puntos y en algunos casos se necesitarán dos semanas para que el sistema inmunitario se movilice completamente.

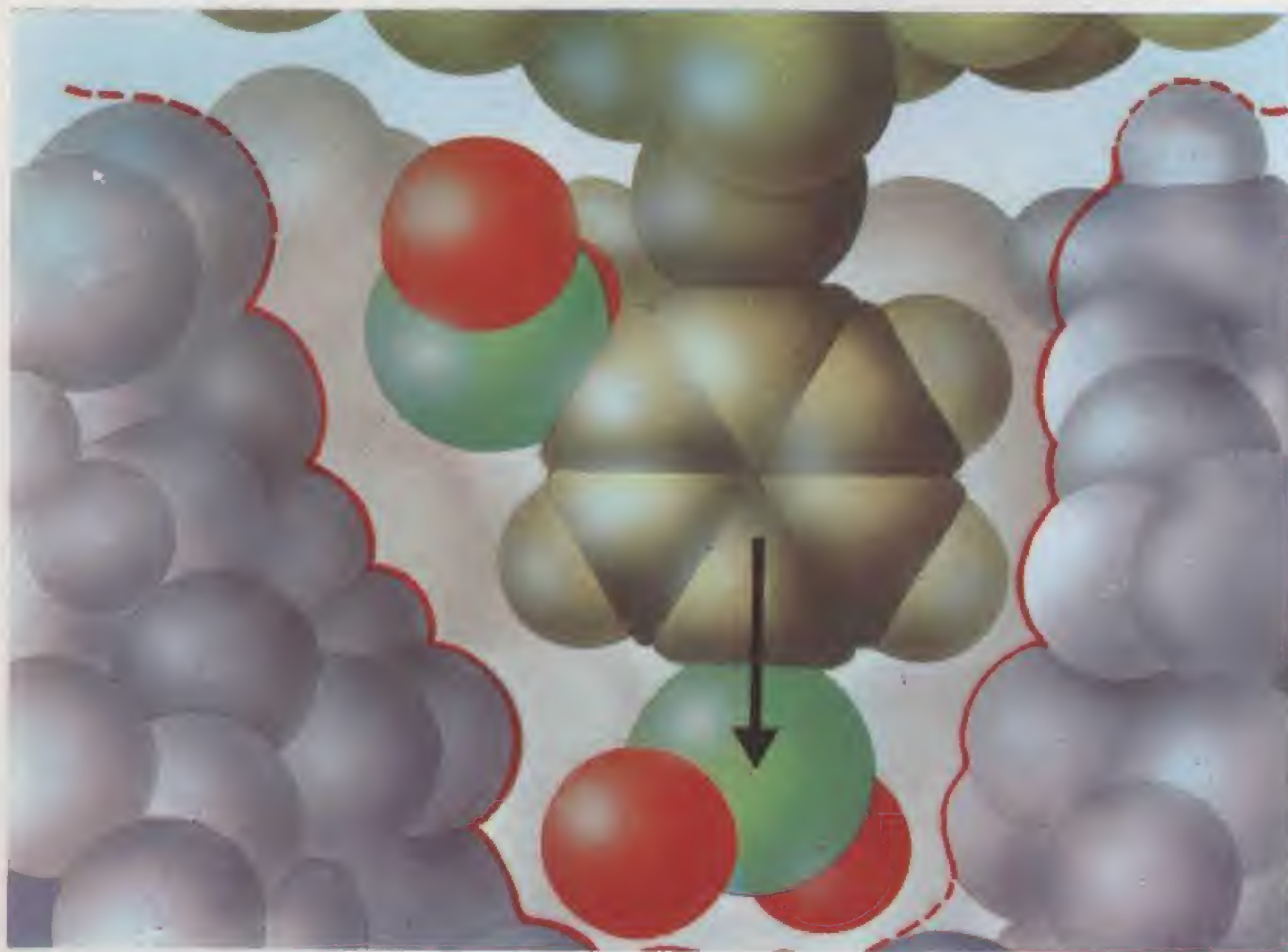
Además de esto, el sistema inmunitario guarda en su memoria una especie de archivo biológico en el que están todas las sustancias que han intentado invadir el cuerpo. En muchas ocasiones, la respuesta a un cierto tipo de antígenos —el virus del sarampión, por ejemplo— se introduce en la memoria bioquímica y confiere a la persona una inmunidad que dura toda la vida o sólo mientras el organismo "recuerda" cómo producir el anticuerpo correcto. En otros casos, como es el del virus de la gripe, el invasor cambia en cada ocasión sus determinantes antigénicos, y por ello el sistema inmunitario se encuentra con que cada vez que se produce una invasión por este virus debe producir anticuerpos distintos.

La inmunidad se puede conseguir también a través de una *vacunación*, sistema con el que se inoculan virus muertos o menos activos. Esto se hace posible gracias a que el sistema inmunitario reacciona a la estructura química del invasor y no a su comportamiento, y por ello los virus muertos facilitan la producción de anticuerpos y confieren inmunidad contra la

enfermedad. La inmunidad que se consigue a través de una enfermedad o de una vacuna se denomina *inmunidad activa*. El organismo responde activamente a una invasión verdadera o bien a una simulada, como es el caso de las vacunas. La *inmunidad adquirida activa* es una situación de respuesta que no puede considerarse del todo nueva, dado que representa en el fondo una especificación parcial y un parcial perfeccionamiento de un estado de resistencia genérico que es compartido por todos los individuos normales y que se denomina *inmunidad natural*. La inmunidad adquirida es variable de unas enfermedades a otras, y no es constante para todas: existen, efectivamente, enfermedades que no confieren ninguna inmunidad y enfermedades que confieren una inmunidad permanente. Hay otras que dan lugar a una inmunidad parcial.

Los niños y las crías de animales muy grandes no son capaces de defenderse contra las infecciones, dado que su sistema inmunitario no está todavía lo suficientemente desarrollado. Sobreviven gracias a los anticuerpos proporcionados por sus madres que circulan en la sangre hasta que ellos son capaces de producirlos por sí mismos. Esta es la denominada *inmunidad pasiva*, sin la cual la supervivencia infantil sería muy difícil y bastaría cualquier enfermedad leve para superar las frágiles defensas orgánicas del recién nacido, cuyo sistema inmunitario no puede oponer todavía ninguna resistencia al invasor.

Véase **Anticuerpos; Enfermedad; Infección**

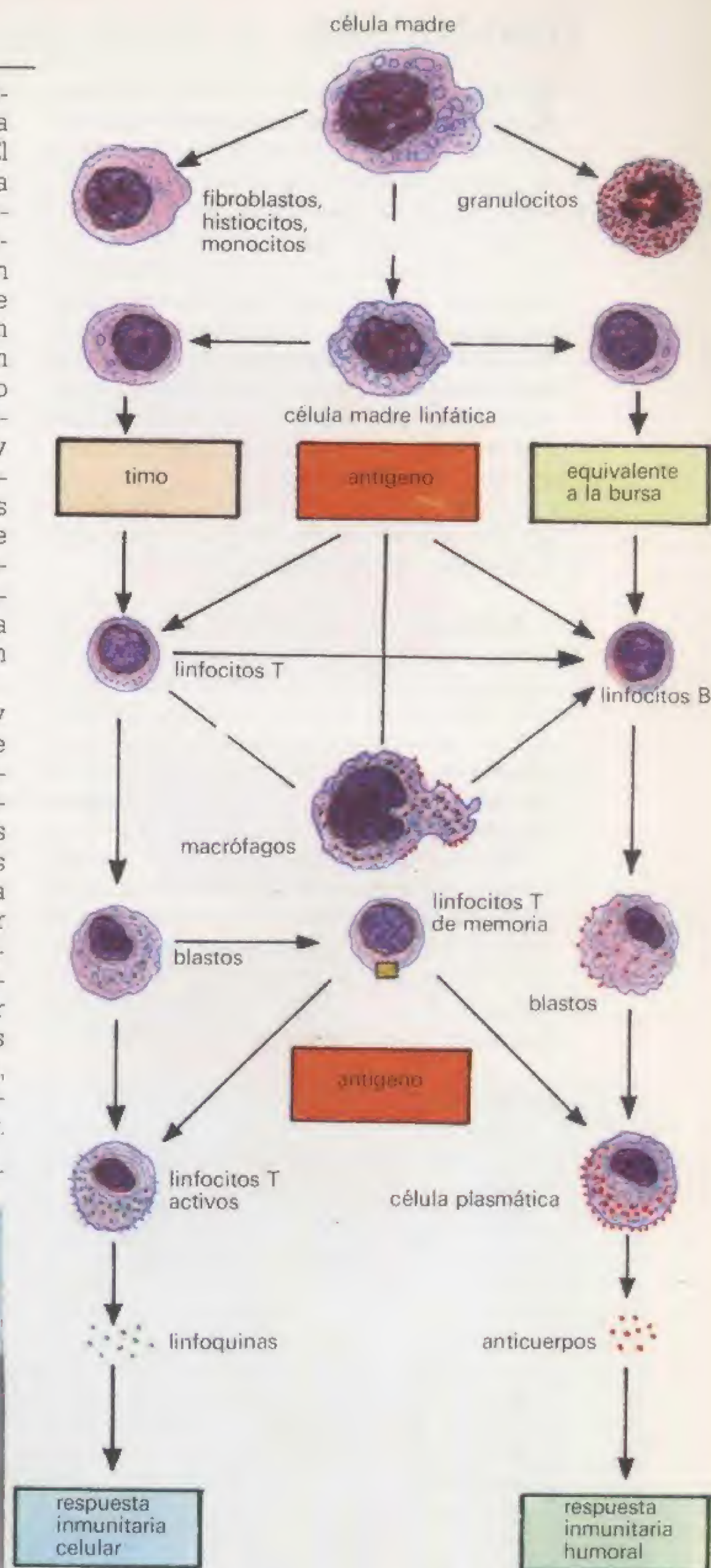


El dibujo sobre estas líneas muestra la zona activa de un anticuerpo en el momento en el que capta un antígeno transportado por un vector proteico, uniéndolo así y, en consecuencia,

volviéndolo inactivo. En el esquema de la derecha, evolución del sistema inmunitario necesaria para una completa inmunización. Se observa que los dos órganos

fundamentales son el timo y el equivalente de la bursa. Abajo, tabla que reproduce el original del registro de las inoculaciones llevadas a cabo en Boston durante la epidemia de viruela

de 1821. De las 280 personas tratadas, sólo seis murieron probablemente por los efectos de la inoculación. Como puede verse, la edad oscilaba entre los 9 meses y los 67 años.



Their Ages.	Persons inoculated.	Had the Small-Pox by Inoculation.	Had an Im- perfect small pox.	Had no Ef- fect of Inoculation.	Suspected to have died of Inoculation.
From months to a year old.	06	06	00	00	00
2 to 5	14	14	00	00	00
5 to 10	16	16	00	00	00
10 to 15	29	29	00	00	00
15 to 20	51	51	00	00	01
20 to 30	62	60	00	02	01
30 to 40	44	42	00	02	01
40 to 50	08	07	00	01	00
50 to 60	07	06	00	01	01
60 to 67	07	07	00	00	01
Total	244	238	00	06	06
Inoculated by Drs. Rely and Thompson in Roxbury and Cambridge.	36	36	00	00	00
Total	280	274	00	06	06

Insecticidas y otros plaguicidas

Si se hace el cálculo del número de especies animales y vegetales que habitan en una selva tropical, se comprobará que es del orden de varios miles. Comparemos ahora este elevado número con el que se puede encontrar en un terreno muy modificado por la acción del hombre, como por ejemplo, un trigal. En este caso, las especies que encontramos no pasan de varias decenas, pues la acción de los agricultores ha eliminado todas aquellas especies que pueden competir con las plantas cultivadas. Se llega a este resultado mediante las labores de la tierra y la aplicación de abonos, pero también debido a la utilización de determinados productos llamados *plaguicidas*.

Acción de los plaguicidas Se consideran parásitos o plagas de las plantas cultivadas a todos aquellos organismos que reducen la cosecha o dañan los productos. La industria química produce en la actualidad una serie de agentes tóxicos seleccionados para cada una de estas plagas, que se denominan *plaguicidas*.

Hay varios tipos de plaguicidas: los que actúan sobre las malas hierbas (*herbicidas*); los que lo hacen sobre organismos como los hongos (*fungicidas*); los que atacan a los animales parásitos de la agricultura, como los nematodos (*nematicidas*), caracoles (*helicidas*), insectos (*insectici-*

das), ácaros (*acaricidas*), y ciertas especies de mamíferos (*raticidas* y *topicidas*).

Hace bastantes decenios se empezó a utilizar una primera categoría de plaguicidas, los *anticriptogámicos*. Actualmente se emplean todavía, especialmente en la viticultura, para la lucha contra las criptógamas, principalmente contra los hongos parásitos, que provocan muchas enfermedades en las plantas. Se trata de compuestos de azufre, cobre, mercurio y plomo. Los más activos son las sales de cobre, en especial el sulfato de cobre, que mezclado con cal apagada constituye el llamado *caldo bordelés*, cuya acción fungicida se debe principalmente al ion cobre. Otros compuestos anticriptogámicos son las sales de plomo o mercurio, pero no son utilizables en agricultura por su alta toxicidad y carácter acumulativo en los organismos.

Los modernos plaguicidas, obtenidos mediante complicadas síntesis químicas, tienen mecanismos de acción más complejos y en la mayoría de los casos su acción es selectiva. Por ejemplo, hay defoliantes que actúan directamente en el pecíolo de la hoja, acelerando su caída. También hay herbicidas que actúan en las partes aéreas de las malas hierbas o sólo en las raíces. Por otra parte, los tratamientos para proteger las plantas cultivadas de los animales parásitos son administrados de

forma distinta según la fase en la que se encuentre la planta: joven, en plena floración o con fruto.

Los insecticidas pueden actuar mediante un proceso de intoxicación general, o bien de una forma muy selectiva, como en el caso de toda una serie de compuestos de uso muy frecuente, que paralizan la musculatura de las alas de los insectos. Los plaguicidas en su conjunto, tanto los

Gran parte de las enfermedades de las plantas es de origen parasitario, es decir, provocadas por organismos animales (en la mayoría de los casos, insectos) o vegetales (principalmente hongos). Estos organismos parásitos de las plantas cultivadas pueden tener graves consecuencias en el ámbito económico, ya que implican una reducción de las cosechas, y se combaten por medio de agentes tóxicos que ejercen una toxicidad selectiva sobre el grupo a controlar. Tales compuestos, seleccionados para

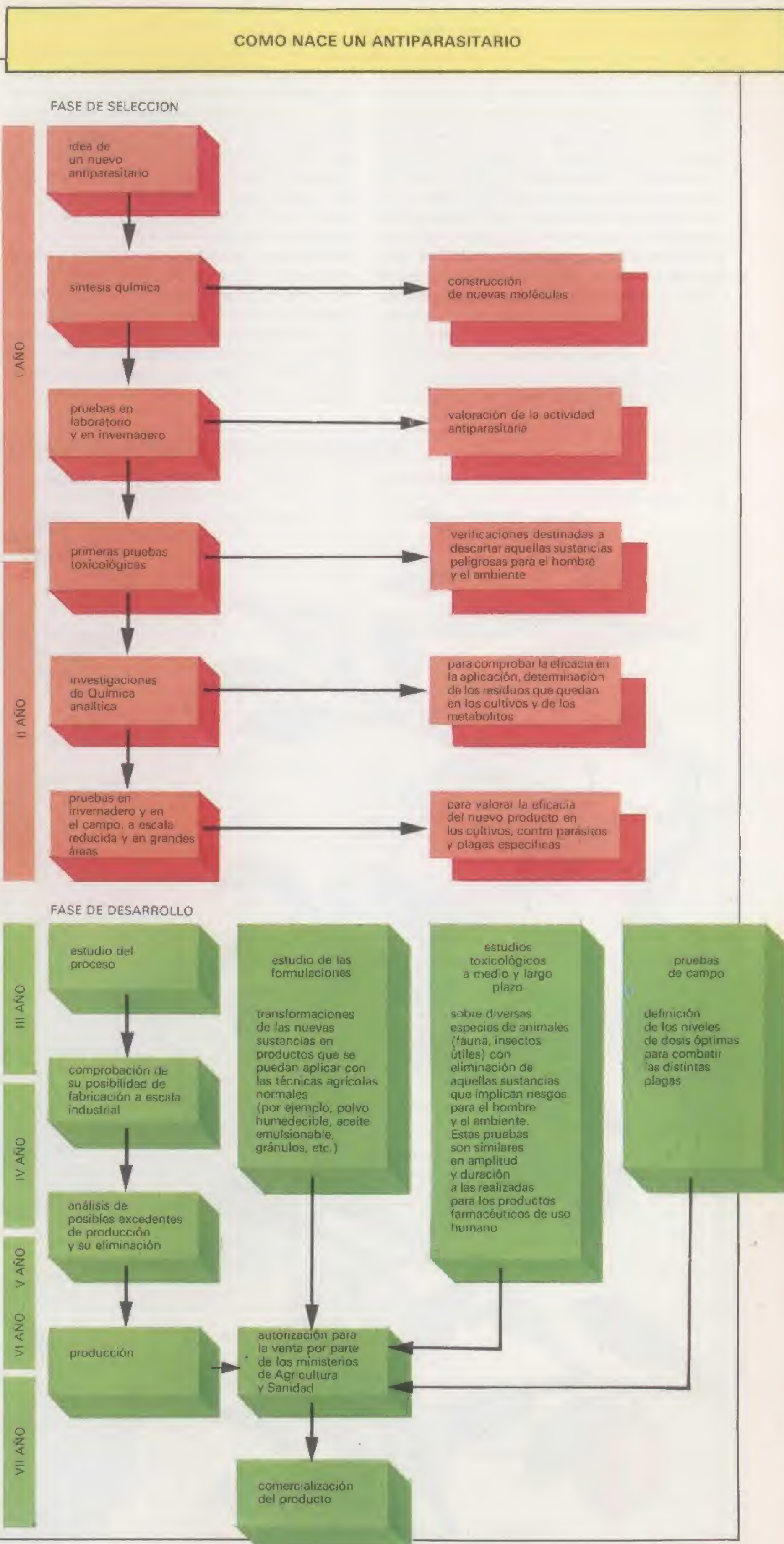
cada una de las plagas, se fabrican a gran escala en las industrias químicas. El lanzamiento de un nuevo plaguicida o antiparasitario requiere una estructura compleja de investigación y desarrollo, en la que colaboran estrechamente biólogos, ingenieros agrónomos, químicos, toxicólogos y farmacólogos. En efecto, cuando se descubre un posible antiparasitario, se le somete a una serie de análisis, pruebas y contrapruebas para determinar sus características. Abajo, viñedo atacado por hongos parásitos.



selectivos como los que tienen una acción más genérica, han contribuido a mejorar de una forma espectacular la productividad agrícola en los últimos decenios, junto con la mecanización y el uso de abonos químicos.

Difusión de los plaguicidas El uso de plaguicidas a gran escala ha coincidido con el inicio de ese gran proceso de industrialización de la agricultura conocido con el nombre de *Revolución Verde*. El monocultivo industrial, que exige una gran densidad de vegetales por unidad de superficie, requiere evidentemente el empleo a gran escala de abonos químicos y plaguicidas. Esto ha permitido que, como en el caso del cultivo de arroz y otros cereales, se reduzcan las pérdidas debidas a enfermedades provocadas por insectos u otros organismos. La planificación y la producción a gran escala se han convertido en un objeto alcanzable en muchas regiones. Otro acontecimiento que ha dado un gran impulso a la difusión de los plaguicidas ha sido la guerra, aunque la mayoría de la gente desconoce este dato. Al final de la II Guerra Mundial hubo diversos ataques e invasiones precedidos no sólo de intensos bombardeos, sino también de una difusión masiva de insecticidas. La principal finalidad de esta difusión era proteger a los soldados de las enfermedades que transmiten los insectos, tales como el paludismo. Uno de los productos que más profusamente fue utilizado en este período fue el DDT, que luego ha sido considerado como agente nocivo para la salud humana, y, por tanto, prohibido para la mayor parte de los usos agrícolas en los países desarrollados. A pesar de las indudables ventajas que ha proporcionado la aplicación de DDT en determinadas situaciones, ha producido también graves efectos en el equilibrio ecológico. El DDT, en su progresión a través de las cadenas tróficas, llega a convertirse en un contaminante global de carácter acumulativo. Tras un análisis exhaustivo, se ha encontrado DDT incluso en las regiones más recónditas del planeta, como en los huevos de los pingüinos del Polo Norte.

Actualmente se tiende a utilizar compuestos que no sean tan persistentes; su molécula tiene que ser, en la mayoría de los casos, de degradación espontánea al cabo de unas semanas o biodegradable, es decir, capaz de ser descompuesta por las bacterias una vez que ha actuado, sin dejar residuos tóxicos. Este tipo de investigación está alcanzando un gran desarrollo en los últimos tiempos, y cada año se experimentan centenares de nuevos productos. Muchos de ellos se someten obligatoriamente a pruebas de eficacia, toxicidad y diversas medidas para valorar si esos compuestos o sus residuos se pueden acumular en el cuerpo de los seres vivos a medida que van pasando por las cadenas tróficas. En lo que se refiere al control de las poblaciones de mamíferos, recientemente ha habido muchas noveda-



des en la aplicación de plaguicidas en el ambiente urbano. La rata de alcantarilla (*Rattus norvegicus*) ha demostrado tener una resistencia especial a numerosos compuestos tóxicos, no tanto por haber desarrollado determinadas formas de resistencia como porque su elevado nivel de organización social y la fuerte capacidad de adaptación en sus pautas de comportamiento le han permitido eludir el ataque del tóxico. Se han ensayado, entre otros, productos anticoagulantes (cebos hemorrágicos) que provocan hemorragias internas en las ratas, y que, por tener un efecto gradual y sin reacciones violentas, evitan que los demás individuos recelen y, en consecuencia, dejen de ingerir-





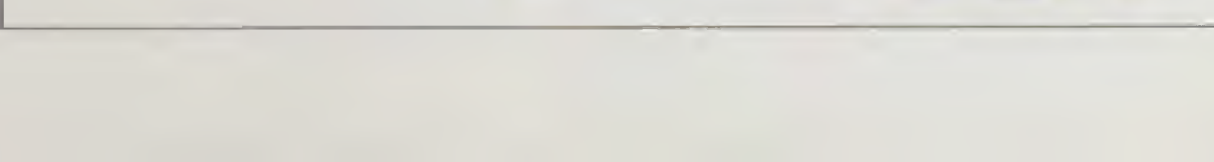
los. Cuando se emplea el producto en polvo, basta que la rata se lama para que empiece a sufrir hemorragias internas al cabo de varios días. Cuando se quiere emplear un método muy drástico, se introducen gases asfixiantes en las galerías después de haber tomado las debidas precauciones. Los gases matan, sobre todo, a las crías que están en los nidos.

El control de las plagas plantea problemas cada vez más graves, a medida que se van eludiendo los equilibrios ambientales, y por ello se ha llegado a la conclusión de que la mejor solución es la que consiga impedir o por lo menos limitar el desarrollo de los organismos que constituyen la plaga.

El problema adquiere especial importancia en lo que se refiere a la conservación de las reservas alimentarias: se ha calculado que los roedores destruyen todos los años enormes cantidades de alimentos, si bien en este campo se está muy cerca de la solución, gracias al empleo de técnicas apropiadas de protección que no hacen uso de aditivos tóxicos.

Riesgos y beneficios El uso de los plaguicidas implica una serie de riesgos derivados de su toxicidad, que puede resultar dañina para la salud humana o para el equilibrio ambiental. Una molécula de plaguicida puede descomponerse con facilidad en el aire, el agua, el suelo o los

CALENDARIO DE LOS TRATAMIENTOS PARA LOS AGRIOS

Estadios vegetativos	Fases	Plagas	Tratamientos
fin del reposo			
	I	criptógamas (hongos, etc.) mosca de la fruta criptógamas (hongos, etc.)	tratamiento contra las adversidades criptogámicas aproximadamente a mitad de la fase; tratamiento contra la mosca de la fruta; nueva intervención anticriptogámica en la floración
pequeños frutos	II	mosca de la fruta	a la caída de los órganos florales que dejan al descubierto los pequeños frutos ya formados es conveniente un tratamiento contra la mosca de la fruta
	III	ácaros	es oportuno un tratamiento acaricida contra distintas especies de Tetránquidos, y Fitoptipápidos
crecimiento de los frutos			
	IV	cochinilla ácaros	intervención contra la cochinilla que tiene vital importancia en la defensa de la mayoría de los agrios. Un tratamiento con un acaricida específico, sobre todo contra la cochinilla roja
previo a la maduración			
	V	criptógamas (hongos, etc.)	cuando se cultivan limoneros, es conveniente intervenir contra el "mal seco" (<i>Denterophoma tracheiphila</i>). Al inicio de la maduración, respetando escrupulosamente las épocas de maduración, es oportuno un tratamiento anticriptogámico
inicio maduración frutos			
	VI	criptógamas (hongos, etc.)	según el estado de los cultivos y la climatología del año, puede ser conveniente un tratamiento anticriptogámico
maduración y reposo			
	VII	criptógamas (hongos, etc.) cochinilla, ácaros criptógamas (hongos, etc.)	en la fase entre la maduración y el reposo, se lleva a cabo un tratamiento normal anticoccidico, anticriptogámico y, para los limones, acaricida
reposo			









Contra las enfermedades de origen parasitario se puede intervenir con eficacia gracias a determinadas sustancias químicas. Puede darse el caso de que el agricultor tenga que realizar tratamientos no sólo contra un parásito en concreto, sino contra un conjunto de adversidades que se pueden desarrollar al mismo tiempo. En tales casos hay que intervenir con mezclas a base de dos o más anticriptogámicos, de anticriptogámicos y

acaricidas, etc. El programa de lucha para proteger un determinado cultivo contra las plagas se desarrolla según un calendario de tratamientos antiparasitarios. Los momentos del tratamiento, que tienen una secuencia muy precisa, dependen de las fases vegetativas de las distintas plantas y de las condiciones ambientales, que suelen influir en el desarrollo de las plagas. Abajo (en las dos páginas) vemos varios ejemplos.

productos alimenticios; o bien permanecer activa durante bastante tiempo, en cuyo caso se convierte en nociva. Las normas internacionales y las legislaciones nacionales inspiradas en ellas establecen una clasificación de los plaguicidas basada en su peligrosidad. Cada una de las clases incluye una serie de productos y las correspondientes precauciones para su utilización. La difusión accidental o crónica de plaguicidas en el medio ambiente puede llegar a provocar graves daños, por lo que el uso de este tipo de productos debe estar convenientemente legislado. Por esta razón se ha pasado a utilizar (también entre los insecticidas) una serie de productos menos peligrosos, sin

excesivos riesgos, fáciles de manejar incluso por los inexpertos. Entre ellos, se encuentra una serie de productos que se fabrican a base de extractos vegetales y actúan sobre todo por contacto: nicotina, rotenona y extractos de pelitre. Los métodos de control biológico de los insectos también contribuyen a limitar el uso de los plaguicidas y los riesgos que conlleva. En cualquier caso, siempre resulta difícil hacer una valoración de la oportunidad y economía de un determinado método.

Véase **Agricultura; Herbicidas; Insectos, control biológico; Plantas, enfermedades de las**

CALENDARIO DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL MANZANO			
Estadios vegetativos	Fases	Plagas	Tratamientos
fin del reposo	I		
 yemas engrosadas	II	cochinilla	polisulfuro de acción anticoccídica
"oreja de ratón"	III		preparado cúprico o acúprico antimoteado, eventualmente unido a un producto antioidio
 ramilletes recién brotados	IV	moteado, oidio	segundo tratamiento antimoteado (producto a base de cobre con azufre), y aceite de Parathion contra fitófagos
 botones rosas	V	moteado, oidio	tercer tratamiento antimoteado con productos acúpricos y con un antioidio; suele coincidir con la terminación del programa de defensa floral
 caída de los pétalos	VI	moteado, oidio	
 pequeños frutos de una nuez	VII	moteado, araña roja	tratamiento contra el moteado con productos acúpricos, además de un producto organofosforado contra los insectos
 crecimiento de los frutos	VIII	moteado, Carpocapsa, oidio, araña roja	protección constante contra el moteado (productos acúpricos) en intervalos que van de 5-6 a 10 días, según se produzcan o no fuertes lluvias o se desencadenen intensas infecciones
 protección constante contra el moteado	IX	Carpocapsa, moteado, araña roja	se sigue protegiendo contra el agusanado (Carpocapsa), a intervalos de 15 días, sin olvidarse de las posibles plagas de microlepidópteros
			

Insectos

Los insectos, en cuanto a número de especies, dominan el mundo. Hasta el momento se han identificado unas 800.000 especies, e incluso este dato es provisional, ya que los entomólogos consideran que hay un número cinco veces superior de especies todavía por descubrir.

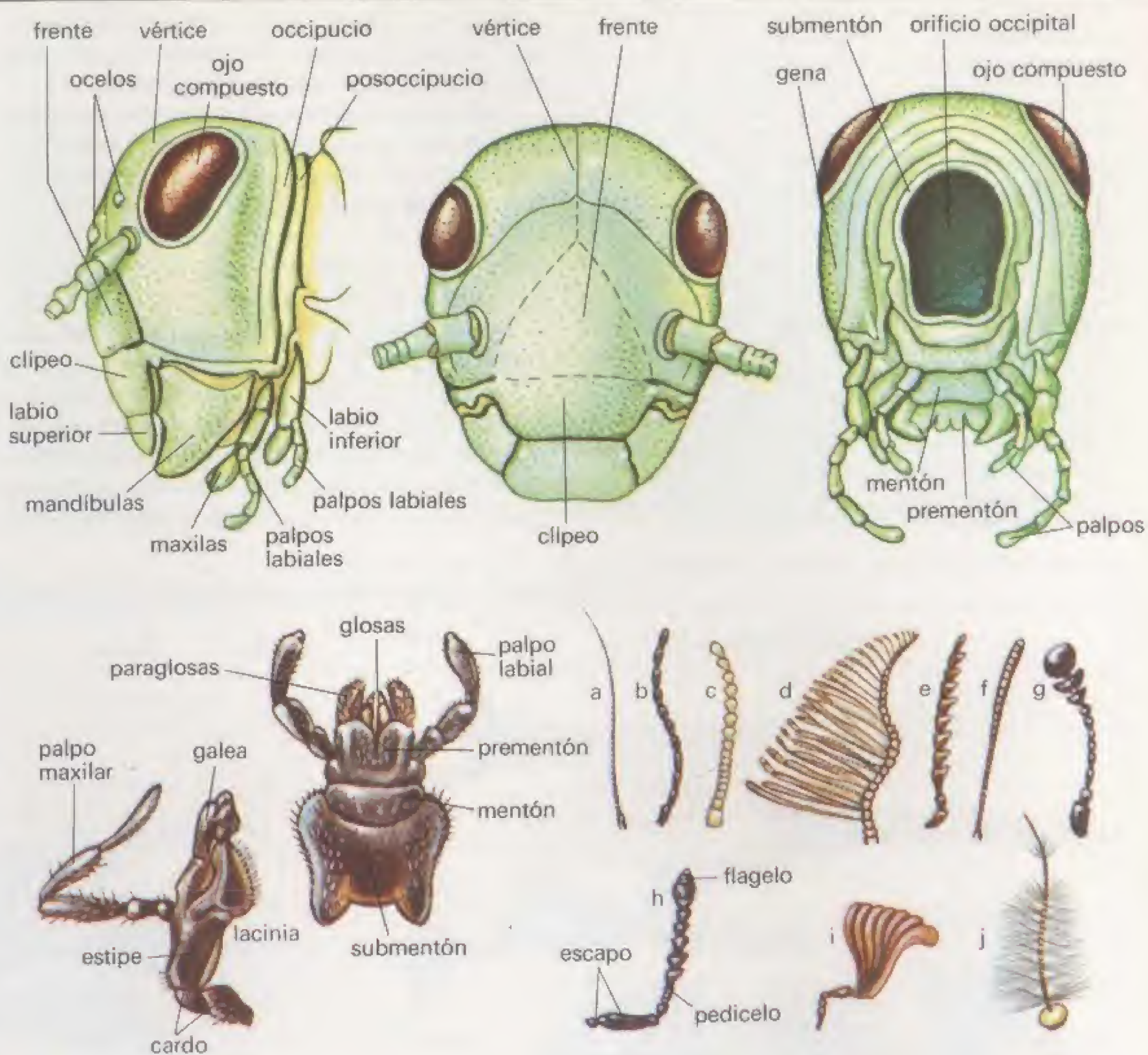
Los grupos principales son cuatro: los Coleópteros (*Coleoptera*), que constituyen el orden más numeroso; los Lepidópteros (*Lepidoptera*); los Himenópteros (*Hymenoptera*), a cuyo grupo pertenecen las mariposas, las hormigas, abejas y avispas; y los Dípteros (*Diptera*), en cuyo grupo están las moscas y los mosquitos. Tanto éstos como los que pertenecen a los restantes veinticinco órdenes están difundidos por todos los ambientes terrestres, poblando además los ambientes acuáticos en grandes cantidades. El único hábitat en el que no son abundantes los insectos son las aguas marinas; sin embargo, éstas están pobladas por los Crustáceos, que forman el otro gran grupo perteneciente, al igual que los insectos, a la categoría de los Artrópodos.

Estructura básica Los insectos son de pequeñas dimensiones. La mayor parte no pasa de los 6 mm, si bien existen "gigantes", como el coleóptero *Dynastes hercules* de Sudamérica, que posee un cuerno frontal muy desarrollado y que alcanza una longitud de 16 cm. El verdadero insecto (perteneciente a la clase *Insecta*) tiene tres pares de patas articuladas, que se insertan en el tórax.

En lugar de poseer un esqueleto interno, como ocurre con los vertebrados, los insectos tienen una espesa cutícula externa (*exoesqueleto*) formada por quitina, una sustancia parecida a la que forma las uñas de nuestros dedos, que es un complejo de hidratos de carbono y proteínas.

Arriba, de izquierda a derecha, cabeza de un insecto y aparato bucal masticador. Según los distintos regímenes alimentarios, este aparato puede ser

masticador-lamador, masticador-chupador, o masticador-picador-lamador. En la misma ilustración, pero abajo a la derecha, varios tipos de antenas. Estas

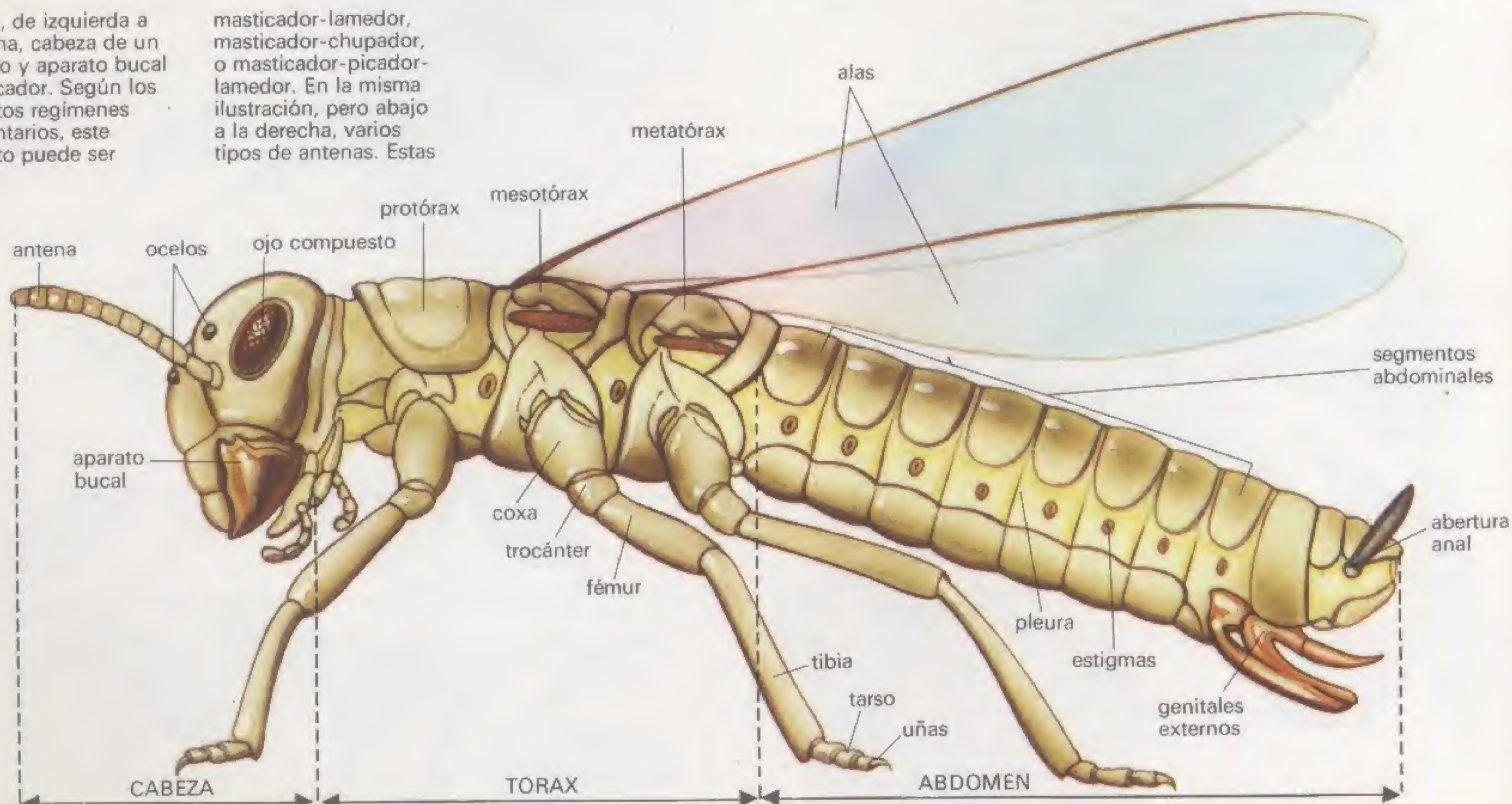


presentan un aspecto distinto según el grupo de insectos al que pertenecen: (a) filiformes-setáceas (*Blatta*); (b) antenas filiformes (*Carabus*); (c) moniliformes (*Calotermes*); (d) antenas pectinadas

(*Tentredinios*); (e) aserradas (*Elatéridos*); (f) antenas claviformes (*Lepidópteros*); (g) claviformes-capiformes (*Necrobía*); (h) geniculiformes (*Calcídidos*); (i) lameliformes (*Melolontha*);

(j) plumosas (machos de *Culex*). Abajo, organización externa de un insecto. El cuerpo está dividido en tres regiones, que a su vez están formadas por varios segmentos articulados o soldados entre sí.

En la página siguiente, arriba, ojos compuestos de un Díptero. Debajo, a la derecha, desarrollo posembriionario de los insectos. Los ametábolos, a los que pertenecen los Aptérigógenos, sólo





→ cambian de dimensiones; heterometábolos son los Pterigógenos con dos estadios posembrionarios;

holometábolos son Pterigógenos con tres estadios; los Hipermétábolos son Pterigógenos, pero con dos tipos de larvas.

Los ojos simples, repartidos por distintos puntos de la cabeza, están formados por una modificación de la cutícula, que toma el aspecto y ejerce la función de una lente, debajo de la cual hay un grupo de células sensibles a la luz. Estos ojos sólo son capaces de percibir el movimiento y cantidades de luz relativamente pequeñas. Hay otros más potentes, los compuestos, formados por numerosos elementos llamados *omátidios*. El desarrollo máximo de este tipo de ojos se da en los tábanos, en los que brillan con una bella iridiscencia estriada en los lugares cerrados. Las libélulas depredadoras pueden descubrir minúsculas presas percibiéndolas a través de una imagen compuesta como un mosaico a partir de las imágenes de sus 28.000 ó más omátidios.

Si se observa una cucaracha mientras se arrastra por la inmundicia, o a una hormiga mientras trepa sobre una presa, se

En algunas zonas del exoesqueleto la quitina se esclerotiza, de manera que las partes de cutícula blanda se combinan con las de cutícula más dura (*escleritos*) para facilitar el movimiento del animal. La cutícula, además de formar un revestimiento impermeable, es la base para la inserción de los músculos.

Los insectos presentan varios tipos de músculos: algunos, los mayores, mueven las alas y las patas, mientras que otros más pequeños se sitúan en la cabeza y sirven para masticar; en el abdomen hay otros músculos de dimensiones intermedias. El rápido zumbido de los mosquitos y el vuelo fulminante de las libélulas son dos ejemplos de la agilidad con que se mueven los insectos en el aire. La cutícula, a ambos lados del tórax y el abdomen, está atravesada por pequeños orificios (*estigmas*), que se comunican con un sistema muy ramificado de tubos aeríferos, llamados *tráqueas*. Las partes terminales de las tráqueas son muy finas y recorren el cuerpo del animal poniendo en contacto el oxígeno del aire con la *hemolinfa*, que es el fluido circulatorio de los insectos, equivalente a la sangre de los vertebrados, y recogiendo además el dióxido de carbono, principal producto de desecho de la respiración. Los insectos acuáticos han desarrollado excelentes sistemas respiratorios. Por ejemplo, las larvas de los mosquitos y algunos Hemípteros acuáticos poseen un tubo (*espiráculo*) que les conecta con la superficie del agua, y permite la entrada de aire en las tráqueas.

Organos de los sentidos La cabeza de los insectos está bien desarrollada, más que en ningún otro invertebrado. En ella se encuentran los órganos de los sentidos. Su vista, por lo general, es aguda. Poseen dos clases de ojos, simples y compuestos.

AMETABOLOS (Apterigógenos sin muda)



adulto

HETEROMETABOLOS (Pterigógenos con dos estadios posembrionarios)



ninfa

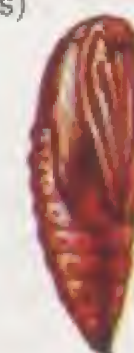


adulto

HOLOMETABOLOS (Pterigógenos con tres estadios posembrionarios)



larva



pupa



adulto

HIPERMATEBOLOS (Pterigógenos con dos tipos larvarios distintos)



adulto



larva



larva



larva



larva

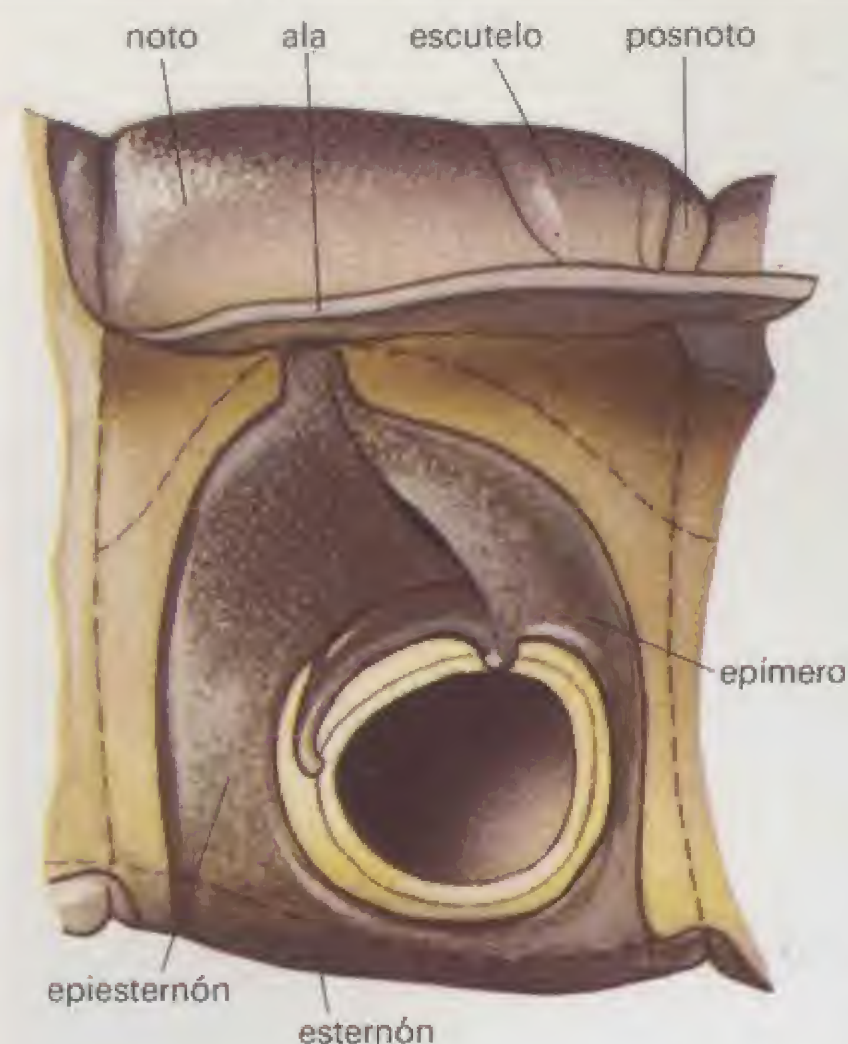


adulto

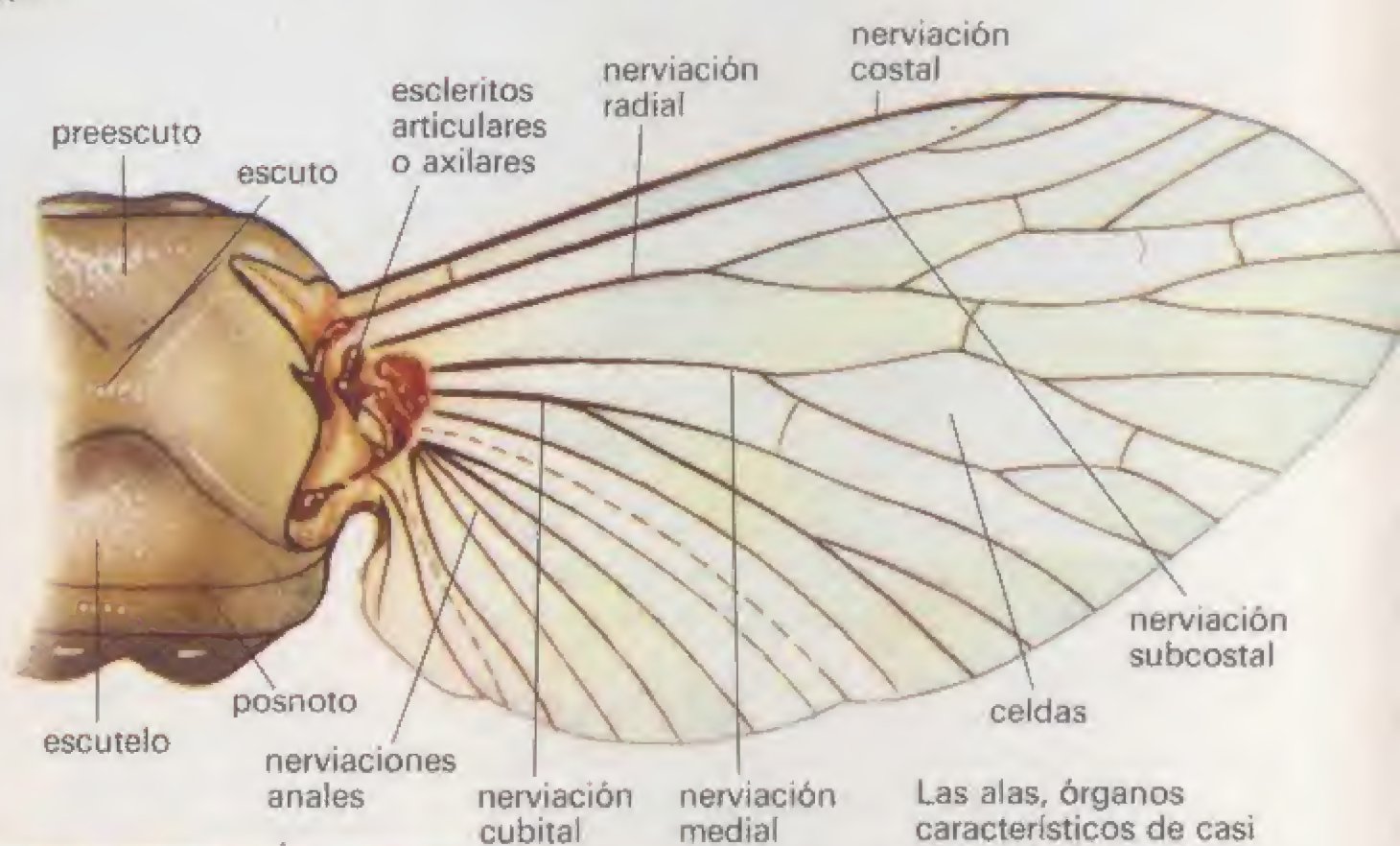
verá que la parte más activa de su cuerpo son las antenas, que tantean el ambiente que las rodea. Las 20.000 especies del grupo de los Ceraméricidos se sirven de largas antenas con forma de bastón o escoba, que poseen una gran superficie sensitiva. Ciertos Lepidópteros machos tienen grandes antenas parecidas a plumas, gracias a las cuales perciben el olor emitido por la hembra.

Además de los órganos sensoriales del cráneo, los insectos poseen gran cantidad de pequeños pelos sensoriales capaces de advertir los cambios en la presión atmosférica, la temperatura y la composición química del ambiente que les rodea. Los Lepidópteros (mariposas, polillas, falenas) poseen también unos receptores del gusto en sus patas anteriores. Las mariposas, además, tienen unas escamillas sensoriales en las alas, y en ciertas especies estas escamillas modificadas constituyen un reclamo sexual para los machos.

Partes de la boca Los insectos, gracias a la ayuda de sus órganos sensoriales, son muy hábiles a la hora de buscar alimento. El aparato bucal es complejo y apropiado, según las especies, para masticar, lamer, picar o chupar. En la parte de delante hay dos grandes mandíbulas que mastican la comida. Detrás de ellas hay un par de maxilas provistas de órganos sensoriales llamados *palpos*. Los insectos tienen además un gran labio inferior cuya función es gustativa. La feroz cicindela, un insecto terrestre, tiene muchos dientes en sus mandíbulas con los que desmenuza a los insectos que le sirven de alimento. Los saltamontes tienen fuertes mandíbulas,



Arriba, esquema de un segmento alar. En los insectos más evolucionados (como en este caso), las pleuras tienen una parte anterior esclerificada que se llama *epesternón* y otra posterior llamada *epímero*. El ala típica, como la que aparece dibujada a la derecha, tiene consistencia membranosa, está recorrida por tubérculos esclerificados que contienen hemolinfa, tráqueas y fibras nerviosas, llamadas *nervaciones*.



Las alas, órganos característicos de casi todos los insectos, aparecen como expansiones laterales del mesonoto al metanoto, con el cual se articulan mediante un número variable de piezas esclerificadas que reciben el nombre de *escleritos articulares o axilares*. A la izquierda, ala membranosa de Mecóptero. En la página siguiente, apareamiento de dos Sífidos.

cuya forma recuerda a la de una sierra, adecuadas para su dieta exclusivamente fitófaga.

Los insectos que tienen una alimentación especial poseen aparatos bucales adecuados. Una de las principales características de los Homópteros (*Homoptera*) es su aparato bucal chupador-perforador. Los Homópteros perforan la epidermis de las plantas y se nutren sobre todo de jugos vegetales; hay otros casos parecidos, como los insectos parásitos del grupo de los áfidos, los *Pseudococcus* (pulgones de los cítricos), que causan graves daños a los cultivos. Hay otros grupos importantes que, en cambio, chupan la sangre y los líquidos corporales de los animales.

Las moscas comunes están dotadas de los más diversos aparatos bucales. La

mosca doméstica común, por ejemplo, se alimenta exclusivamente de sustancias líquidas y semilíquidas que es capaz de aspirar gracias a su típica trompa; cuando el alimento es sólido, segrega una especie de saliva con la que lo disuelve y luego lo succiona. El mosquito, en cambio, tiene un órgano parecido a un estilete, que perfora la piel de los animales para chuparles la sangre. Tanto la mosca como el mosquito son importantes portadores de enfermedades. Se sabe que la mosca puede transmitir más de 30 tipos de bacterias y enfermedades virales, ya que se posa tanto sobre los alimentos como sobre la inmundicia. Es bien sabido que el mosquito *Anopheles* transmite el *Plasmodium*, protozoo responsable del paludismo. A pesar de que el paludismo está erradicado casi

por completo en los países desarrollados, sigue siendo causa frecuente de muerte en muchas regiones tropicales.

Los Lepidópteros, cuando tienen en reposo sus largas trompas, las enrollan como muelles de reloj; en general, se alimentan con el néctar de las flores y con secreciones de las hojas de distintas plantas.

Reproducción El chirrido melodioso de los grillos, la luminosidad intermitente de las luciérnagas y los vivos colores de algunas mariposas son métodos para llamar la atención a los individuos del otro sexo. Los insectos hembra ponen distintas cantidades de huevos. Hay varios tipos de desarrollo de las larvas: en las especies primitivas, que carecen de alas, como el pececillo de plata, no se produce casi ningún cambio en la forma del cuerpo desde que eclosiona el huevo hasta que el insecto

alcanza el tamaño adulto. Los saltamontes y las chinches, en cambio, pasan por unos estadios larvarios graduales: las larvas, similares a los adultos, se despojan de los viejos exoesqueletos (fenómeno llamado *muda*), y forman nuevos revestimientos. Las alas y los órganos genitales se desarrollan en el último estadio larvario. Esta metamorfosis incompleta o simple es distinta de la que tienen los insectos más evolucionados. Las moscas, hormigas, mariposas, escarabajos y abejas, por ejemplo, experimentan una metamorfosis completa y tienen larvas totalmente distintas a la forma del insecto adulto. También hay un "estadio de reposo", la *pupa* (ninfa o crisálida), en el que tiene lugar la sorprendente transformación de la larva en insecto adulto.

Numerosos insectos con larvas acuáticas permanecen varios años en este estado, para finalmente, después de la metamorfosis, transformarse en adultos voladores, que en pocos días, a veces en tan sólo uno, deben fecundarse, hacer la puesta de huevos y morir. Análogamente, algunos escarabajos pasan muchos años en estado larvario, excavando galerías en la madera. Luego salen a la luz, transformados en adultos, y viven poco tiempo, apenas el necesario para reproducirse y perpetuar la especie. Las orugas, que son las larvas de las mariposas, suelen tener coloraciones miméticas con las plantas en las que viven. Algunas, como la oruga de *Deilephila elpenor*, cuando se ven en peligro muestran unas manchas semejantes a ojos que les hacen parecer pequeñas serpientes. El nacimiento sin fecundación previa de los huevos, o *partenogénesis*, hace que ciertos insectos, como los áfidos (pulgones), tengan un potencial reproductor increíblemente alto. Esta característica también es típica de las abejas, cuyos huevos no fecundados dan lugar a los machos (zánganos).

Insectos sociales Dentro del orden *Hymenoptera* hay muchos ejemplos de sociedades matriarcales, gobernadas por una reina o varias hembras. Estas últimas, en realidad, son como máquinas a pleno rendimiento que van poniendo los huevos, de los que se hacen cargo miles de obreras estériles. Ya que su única misión es conservar la colonia, las obreras se vuelven estériles debido a una sustancia que segrega la reina, y se destinan entonces a tareas tales como búsqueda de alimento, alimentación de las larvas, limpieza de las celdillas del panal, defensa de la colmena contra los agresores, almacenamiento de la miel y el polen, etc. El número de machos de un enjambre es muy reducido; son indispensables sólo para asegurar la fecundación y una vez cumplida su función se les mata o mueren de hambre, ya que sus aparatos bucales no son funcionales. La abeja doméstica ha sido estudiada muy detenidamente, y se ha descubierto que las obreras realizan complicadas danzas para comunicar a sus compañeras el emplazamiento exacto de una nueva fuente de alimento descubierta por una de ellas.

Es bien conocida la frenética actividad de las hormigas. Hay hormigas "esclavistas", que someten a otros insectos; las hormigas de las mieses almacenan semillas durante el verano para asegurar el crecimiento de la colonia, y las hormigas parasol cortan hojas para meterlas en el hormiguero; allí, la papilla formada por las hojas en descomposición servirá de sustrato para el crecimiento de unos hongos, de los que se alimentan. Ciertas especies de hormigas protegen y cuidan a los pulgones con el fin de "ordeñarlos" para obtener unas gotas de un líquido azucarado que les sirve de alimento. Hay hormigas tropicales que no construyen nidos, sino que emprenden continuas migraciones en



Macro-Express, Bergamo

enormes grupos. Las obreras presentan grandes mandíbulas, y asaltan a cualquier bicho viviente —aunque sea un animal grande— que se cruce en su camino.

Entre todos los insectos sociales, los que llevan una vida más misteriosa son las termitas, ya que viven en galerías subterráneas o excavadas en la madera, o bien en grandes termiteros que se alzan sobre el suelo y tienen una consistencia parecida a la del cemento. Las termitas, a diferencia del resto de los insectos, tienen un ciclo más largo: una reina y su compañero, instalados cómodamente en su cámara nupcial, pueden vivir 50 años o más. Comparándola con el resto de la colonia, la termita reina es enorme, puede medir hasta 14 cm y poner huevos a la fantástica velocidad de 20.000 por día. Algunos grandes "montones" que aparecen aquí y allá en la sabana africana —de hasta 12 m de altura— son obra de las termitas. Desde ese "campamento-base", las obreras se dispersan en todas direcciones para alimentarse de las sustancias vegetales que encuentran a su paso. Su capacidad para digerir la celulosa de la madera se debe a la presencia de protozoos y bacterias (organismos unicelulares microscópicos) en su intestino, que descomponen hasta las fibras más resistentes.

También los nidos de las termitas magnéticas australianas son muy espectaculares, pudiendo llegar a los 3 m de altura. Tienen forma de cña, cuyo eje principal se coloca siempre en dirección norte-sur. Este tipo de construcción reduce probablemente el aumento de temperatura al mediodía, y hace que el agua que cae durante la corta pero intensa estación de las lluvias resbale con facilidad.

La mayor parte de las termitas vive en pequeñas colonias en la madera o el suelo. En las zonas tropicales son especialmente abundantes, pero también allí pueden pasar inadvertidas hasta que invaden las casas, donde suelen ocasionar graves daños en poco tiempo.

Las relaciones entre el hombre y los insectos

Los contactos entre el hombre y los insectos se suelen reducir a una lucha constante contra ellos, tanto por las enfermedades que transmiten como por su carácter destructor de las cosechas y los bienes del hombre. Los mosquitos y las moscas tsé-tsé asolan muchas regiones tropicales y ecuatoriales, pero también, en el ámbito doméstico de las zonas templadas, las chinches, los piojos y las pulgas no sólo resultan molestos sino también peligrosos por ser agentes transmisores de muchas enfermedades. Los insectos no tienen rival como animales perjudiciales para la agricultura, ya que atacan a todas las partes de la planta, desde las hojas hasta las raíces y las flores, e incluso a las semillas en el campo y en los almacenes. Las orugas de las distintas especies de *Lymantria*, en América del Norte, y la procesionaria del pino, en Europa meridional, provocan enormes daños en los cultivos y los bosques.

Dado que los mismos insectos son víctimas y predadores unos de otros, para luchar contra ellos se puede utilizar el *control biológico*, que consiste en introducir en el ambiente una especie capaz de destruir a la que no interesa, como forma de resolver este problema. En efecto, ciertos experimentos realizados en zonas agrícolas no muy amplias y fáciles de controlar han dado resultados alentadores.

Sin embargo, el equilibrio biológico entre las distintas especies es tan delicado que muchas veces este método se vuelve contra quienes lo utilizan, y puede resultar inapropiado cuando se aplica en zonas muy amplias. La continua lucha entre el hombre y los insectos ha llevado a la elaboración de armas químicas cada vez más sofisticadas, mientras que los insectos se vuelven cada vez más resistentes.

Véase Abeja; Animal; Artrópodos; Enfermedades tropicales; Evolución animal; Hormiga; Insecticidas y otros plaguicidas; Insectos, control biológico; Invertebrados; Metamorfosis

Insectos, control biológico

Los insectos pueden ser molestos, pero además son la causa de numerosas enfermedades de los cultivos agrícolas, transmisores de enfermedades graves producidas por microorganismos, etc. El control de los insectos es una ciencia ecléctica que incluye gran cantidad de medios químicos, biológicos y mecánicos. Para llevar a cabo ese control, es necesario, en primer lugar, identificar los elementos a controlar, conocer bien los métodos más eficaces para combatirlos que a la vez sean menos perjudiciales para el medio ambiente, y ser capaces de aplicar estos métodos correctamente y con la adecuada seguridad.

Los antiguos chinos utilizaban poblaciones de hormigas depredadoras que se comían a los insectos devoradores de hojas, y así combatían dicha plaga. En Occidente, la primera noticia que se tiene de "control" de los insectos se remonta a 1762, cuando los franceses introdujeron el ave india "mynah" en la Isla Mauricio para destruir las langostas que asolaban sus cultivos. Cuando, en los años treinta y cuarenta de nuestro siglo, se fabricaron los primeros insecticidas orgánicos, la atención de los que se ocupaban de este tema se centró en los medios químicos. Todavía hoy, cuando ya conocemos el perjuicio

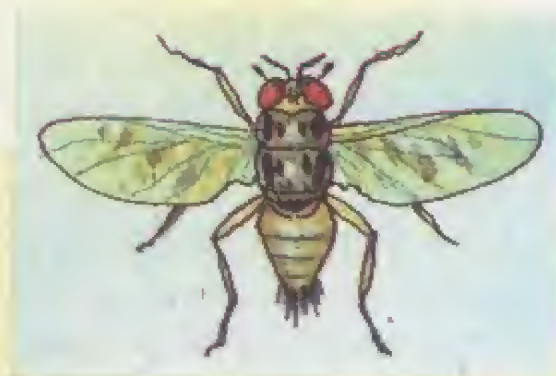
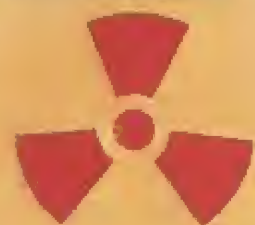
que a largo plazo causan los insecticidas en el entorno, los científicos dirigen sus investigaciones hacia la consecución de unos medios de control que no dañen el ecosistema. Las mayores esperanzas van dirigidas hacia la utilización combinada de métodos biológicos, químicos y mecánicos.

Control de los insectos mediante productos químicos El control químico de los insectos se logra con el uso de insecticidas, sustancias venenosas que interfieren los procesos metabólicos de los insectos y que generalmente son letales. Es difícil lograr que los insecticidas actúen dentro de unos límites precisos, y, en ocasiones, pueden permanecer en el ambiente mucho tiempo, una vez cumplida su misión, lo que implica que sus efectos perjudiciales pueden afectar a muchas otras formas de vida, incluido el hombre. Los insecticidas son instrumentos necesarios para la protección y rentabilidad de los monocultivos agrícolas cuando no hay depredadores naturales que se alimentan de los insectos dañinos, y en zonas en las que hay que exterminar por completo a los insectos portadores de enfermedades, como los mosquitos transmisores del paludismo.

Otros métodos Una forma ideal de prevención contra los insectos perjudiciales es la obtención de variedades de plantas y animales resistentes. Gracias a la Genética, ha sido posible modificar ciertas especies de plantas y animales para que no atraigan a los insectos o sean capaces de resistir sus ataques. Los científicos han conseguido variar también el período de maduración de ciertas especies vegetales para que no coincida con las costumbres alimentarias o con la fase de desarrollo del insecto que las ataca.

Las prácticas agrícolas encaminadas al control de los insectos dañinos consisten en hacer que el entorno sea menos atractivo para dichos insectos. Una buena escarda, que mantenga limpia la tierra de desechos, puede evitar que los insectos se instalen en ella y se reproduzcan.

Ciertos cambios ecológicos pueden llegar incluso a erradicar las enfermedades propagadas por insectos en un territorio determinado. La fiebre amarilla y el paludismo, por ejemplo, se transmiten por medio de mosquitos que necesitan un ambiente pantanoso para crecer. Si se secan los lodazales, los mosquitos no pueden desarrollarse, porque sus larvas son acuáticas y precisan de zonas encharcadas para sobrevivir.



Arriba, higos y naranjas gravemente dañados por la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*). Se crían masivamente los machos de esta especie, y se esterilizan mediante irradiación (arriba, a la izquierda). Una vez liberados en el área deseada, los machos estériles se aparean con hembras normales. Esto conduce a una disminución progresiva

de la fertilidad de la población, y en algunos casos a la eliminación total del parásito en la zona. En la página siguiente (detalle a la derecha) puede verse una especie de trampa para capturar en masa al insecto parásito. Este método de lucha biológica debe su eficacia a la utilización de sustancias químicas de reclamo. Unos pocos gramos de feromona de tipo

sexual se colocan en las trampas para atraer al mayor número posible de individuos. Otra forma de emplear estas jaulas-trampa es colocando en ellas cantidades mínimas de feromonas con la finalidad de estudiar los movimientos, densidad y distribución del insecto en un área determinada, de modo que se pueda realizar luego un tratamiento con antiparasitarios que sea equilibrado.

El hecho de plantar setos en torno a las zonas de cultivos puede animar a los pájaros insectívoros a anidar y vivir junto a las plantas vulnerables, librándolas de un gran número de insectos parásitos.

Se puede ahuyentar a los insectos cultivando los vegetales a los que habitualmente atacan en zonas que para ellos resulten inhóspitas. Se ha descubierto, por ejemplo, que muchos insectos (sobre todo los pequeños) son arrastrados por el viento. Si se plantan zanahorias, coles, etc., en tierras expuestas al viento, se verán libres en gran medida de la invasión de pequeñas moscas.

La diversificación de los cultivos es, al parecer, una de las mejores formas de ahuyentar a los insectos. La vegetación mixta (o policultivo) tiende a atraer gran cantidad de insectos, que a su vez se destruyen unos a otros manteniéndose sus poblaciones en equilibrio natural. De esta forma se crean sistemas equilibrados en los que las plagas son menos frecuentes.

Métodos biológicos de control El control biológico de los insectos consiste en favorecer, o incluso criar, a sus depredadores naturales y a sus parásitos, o bien en difundir sus enfermedades. Esto puede resultar especialmente útil cuando se ha

importado involuntariamente un insecto dañino a una región determinada, sin que le hayan seguido sus depredadores, o en los casos en que el número de enemigos naturales haya disminuido de forma notable.

También puede ser un método muy eficaz combatir a los insectos con microorganismos, como bacterias o virus. Para ello se recogen o crían individuos enfermos de la misma clase de insectos, se identifican y multiplican las bacterias o virus productores de la enfermedad, y posteriormente se dispersan en los cultivos atacados por el insecto. Así, por ejemplo, se emplean tratamientos insecticidas rociando las zonas afectadas con una suspensión de esporas de *Bacillus turingiensis*, bacteria patógena para numerosas especies de insectos a los que mata mediante una toxina específica. Muy recientemente, y gracias a los avances de la Ingeniería genética, se ha conseguido transmitir los genes que determinan la producción de la toxina de *Bacillus turingiensis* a plantas de tabaco, que de esta manera se hacen inmunes a los insectos sensibles a esta toxina. Otro sistema, llamado *técnica del macho estéril*, consiste en esterilizar a los machos con radiaciones ionizantes y distribuirlos por las zonas atacadas por la

plaga, de forma que en poco tiempo se llega a eliminar al insecto.

También hay sistemas puramente mecánicos que pueden ahuyentar a los insectos, como mantener una zona sin vida y con las fuentes de alimento bien protegidas. Si un insecto no puede obtener su alimento preferido en una zona, la abandonará. Ciertas barreras y pantallas pueden ahuyentar a las termitas y a las moscas. Algunas luces, sonidos y olores pueden alejar a los insectos de su probable huésped.

El control de los insectos opera a tres niveles: *prevención*, que consiste en impedir que los insectos colonicen una zona; *supresión*, que estriba en reducir la población de insectos hasta un nivel tolerable, y *erradicación* o eliminación total de una población de insectos en una determinada zona.

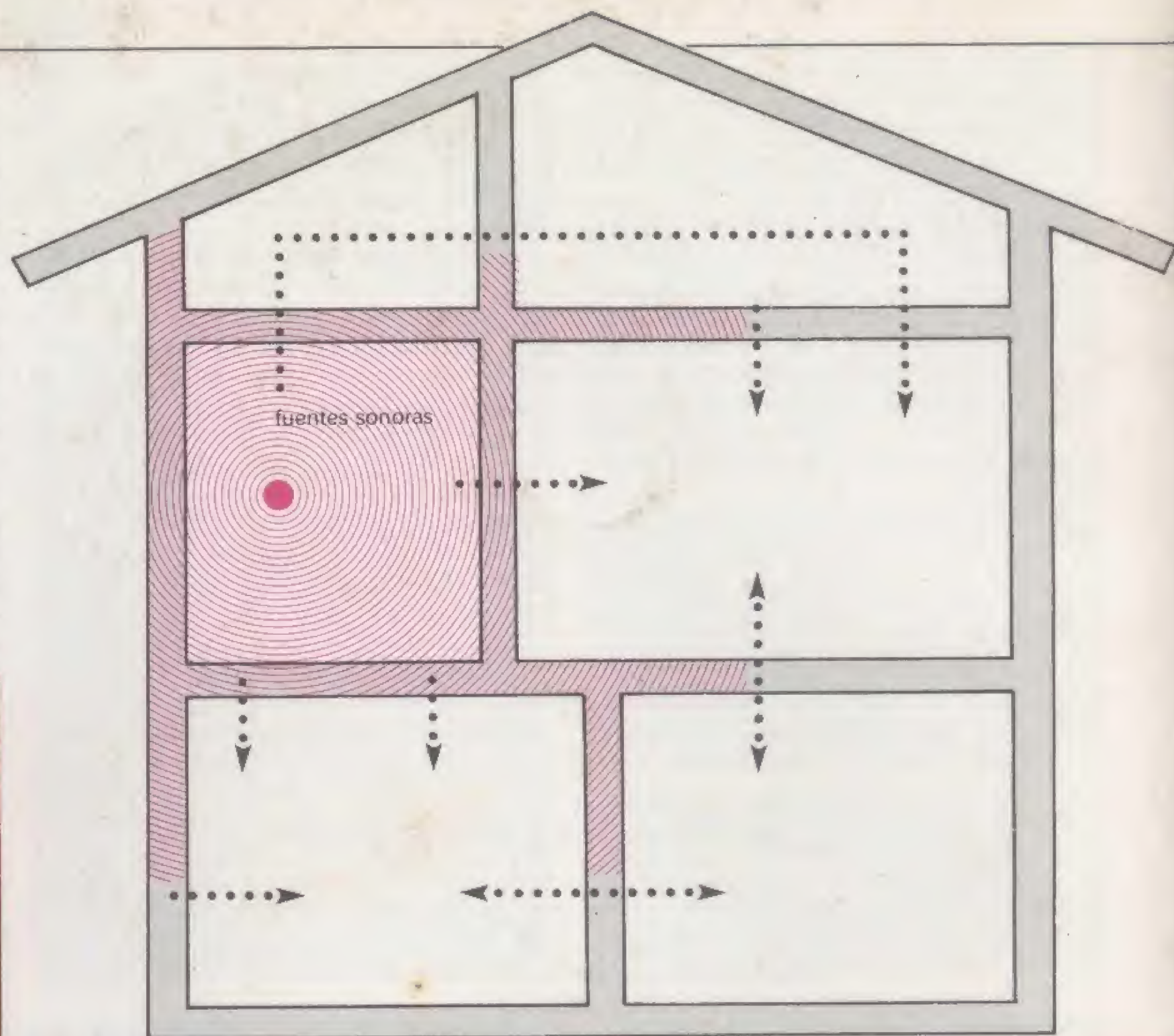
Las decisiones a la hora de elegir un procedimiento de lucha u otro tienen que tomarse con mucha prudencia. Si se acaba con toda una población de insectos, los efectos sobre el equilibrio natural pueden ser imprevisibles.

Véase **Insecticidas y otros plaguicidas; Insectos; Parásitos**

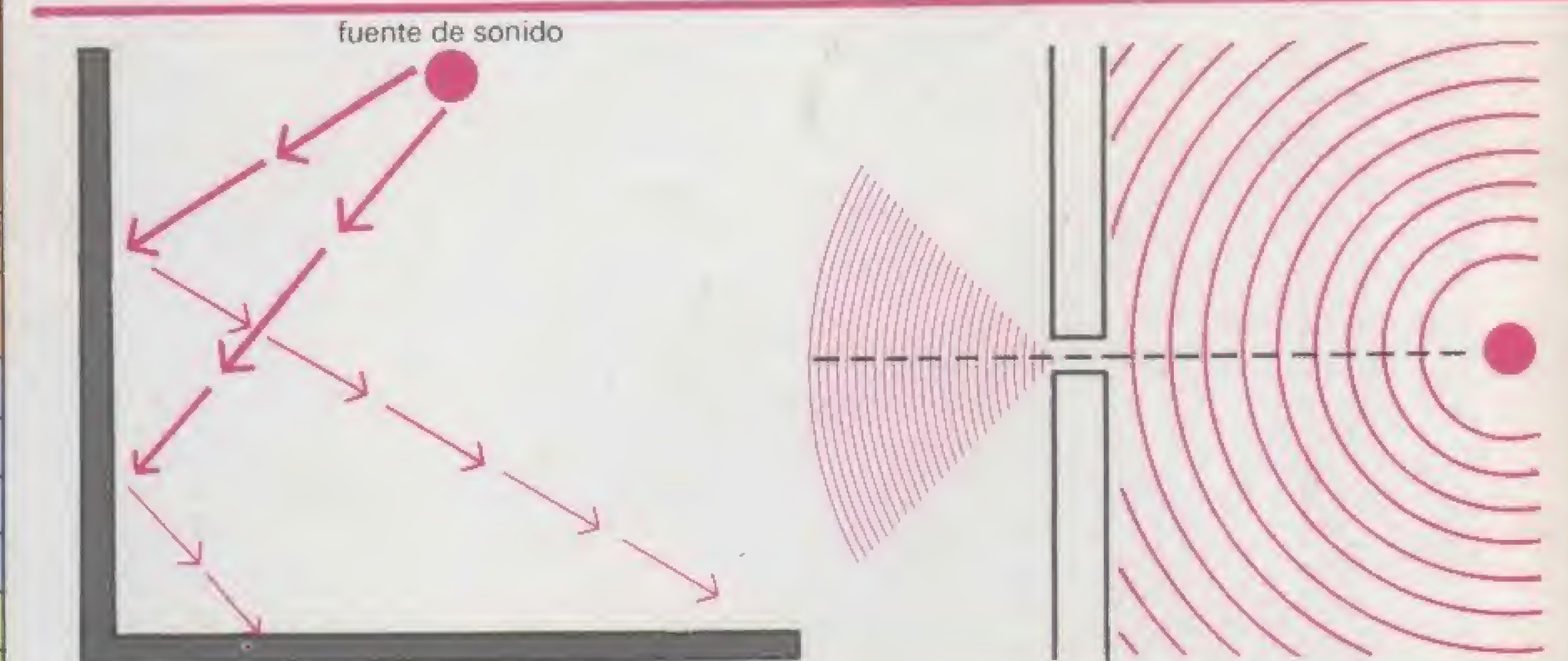


Insonorización

Piénsese en el sonido como en una forma de energía. El sonido es generado por una fuente —una voz, un instrumento o una máquina— y se propaga en forma de ondas que, partiendo de la fuente, se dispersan en el espacio, disminuyendo su intensidad a medida que se alejan de la misma. Dichas ondas sonoras son producidas por el movimiento oscilatorio longitudinal de las moléculas de aire, que transmiten su movimiento a las que las rodean a medida que la perturbación (onda) avanza. Si una persona intercepta la trayectoria de las ondas, éstas producirán vibraciones en sus tímpanos que serán enviadas al cerebro a través del sistema nervioso. Desde este punto de vista, el problema de la eliminación del sonido, o *insonorización*, consiste en detener o absorber las ondas sonoras, o lo que es lo



medida en decibelios	fuente de sonido	
180	misil	forja de fundición
170		
160	ametralladora	
150	avión a reacción (en vuelo)	
140		
130	cañón	avión a reacción (en tierra)
	martillo neumático	campanas
120	coche de carreras	
110	música pop	sirenas
110	vehículos oruga	motocicletas
	bocinas fuertes	metro
	grandes generadores de corriente	
110		
100	sierras circulares y pulidoras de madera	
	esmeriladoras para metales	
100	fundición	astillero
	torno para metales	mina
	orquesta sinfónica	
	calle con mucho tráfico	
100		
100	motores de vehículos pesados (tractores, camiones)	
90		
90	vehículo utilitario (a 100 km/h)	
	maquinaria textil	
	carretera con mediana circulación	
80	despertador	baile
	tranvía en cruces o curvas	
70	teléfono	teletipo
	radio y televisión a gran volumen	
60		
50	voz humana (con tono elevado)	
50		
50	carretera poco transitada	función de teatro
40		
30	conversación (suave)	
20		
10	brisa en el bosque	



mismo, el movimiento oscilatorio de las moléculas de aire. El mejor modo de conseguir esto depende de multitud de factores.

Un conocido problema de ruido, por ejemplo, es el que está asociado a los aviones. En los primeros aviones, las fuentes de ruido eran básicamente tres: el motor, la hélice (que generaba gran cantidad de ruido al cortar el aire) y el propio flujo de aire, o ruido del viento, generado por el paso del avión. Si se representa el volumen del sonido con unidades que varían entre 1 (un susurro o el silbido del aire alrededor de una hoja) hasta mil millones, representado por el ruido escuchado cerca de un motor de avión encendido, se tendría aproximadamente la amplitud de la escala de sonidos a los que se encuentra sometida una persona. Debido

a ello, el problema de la insonorización ha debido ser afrontado a distintos niveles. En el caso del flujo de aire, se resolvió el problema dotando a los aviones de una forma aerodinámica y construyendo cabinas cerradas para los pasajeros. El ruido de las hélices no pudo ser eliminado hasta que no se suprimieron las propias hélices, sustituyéndolas por los motores a reacción. El nivel de ruido de dichos motores se redujo considerablemente situándolos en la parte posterior del avión e insonorizando la cabina de pasajeros mediante la utilización de materiales porosos fonoabsorbentes.

Materiales El material para insonorización, es decir, el material fonoabsorbente, es un tipo de material capaz de absorber la oscilación longitudinal de las molé-

culas de aire que lo alcanzan, sin irradiar una nueva onda sonora desde su cara opuesta. Posteriormente, dicho material disipa la energía de la onda sonora en forma de calor. De todos modos, la cantidad de energía involucrada en el proceso es tan pequeña que resulta prácticamente imposible percibir el aumento de temperatura que se produce en el material.

Un material fonoabsorbente es, por lo tanto, algo así como un transformador de energía que convierte la energía sonora en energía térmica interrumpiendo de ese modo la transmisión del sonido.

Cualquier material pesado, cuando recubre completamente un espacio, actúa como material insonorizante: ladrillos o placas de acero pueden servir. Sin embargo, para una habitación o apartamento los materiales citados pueden resultar inde-

En la tabla de la página anterior se han catalogado algunas de las fuentes de ruido más frecuentes. La protección contra el exceso de ruido debe ser afrontada al edificar, introduciendo materiales aislantes en las cámaras de los tabiques (a la derecha). En los edificios ya construidos y carentes de dicha protección, es posible intervenir recubriendo las paredes y los suelos con paneles insonorizantes, constituidos, por ejemplo, por lana de vidrio o de roca (junto a estas líneas). Un buen aislamiento de los tabiques, los suelos y los techos es insuficiente si las ventanas no son aislantes. Con este fin, en las ventanas deben colocarse cristales de gran espesor, o, mejor aún, cristales dobles o con cámara de aire (abajo).



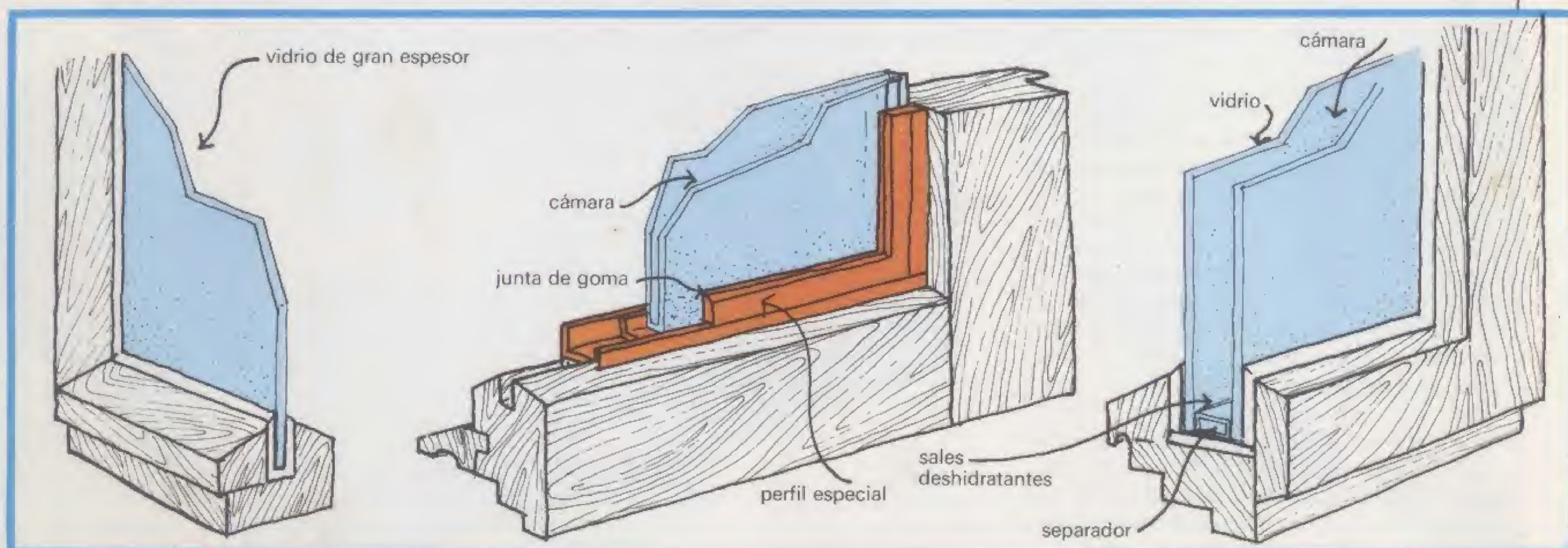
seables o demasiado costosos. Para evitar esto, han sido desarrollados otros más ligeros y baratos. Dichos materiales tienen la particularidad de ser porosos para permitir a las moléculas de aire que transmiten el sonido una fácil penetración. Una vez alcanzado el interior del material, la energía de vibración de las moléculas es absorbida y disipada. Dicho material debe cubrir la mayor área posible de la superficie constituida por paredes y suelos. Las zonas que no pueden ser cubiertas —como ocurre con las puertas y ventanas— deben permanecer herméticamente cerradas.

Al afrontar un problema de ruido, los técnicos especializados en acústica deben tener en cuenta tres factores esenciales: las características de las fuentes de sonido, la dirección seguida por éste y las características de la persona o el objeto que lo recibe. Por ejemplo, el ruido de la

circulación en una autopista puede molestar mucho a las personas que habitan en las cercanías de la misma. Dicho ruido no puede ser eliminado; es inherente a la propia naturaleza de la autopista. Sin embargo, puede ser desviado de forma que no alcance directamente a las viviendas (por ejemplo, construyendo un muro bastante alto). De esta forma el nivel de ruido en las viviendas se reducirá y el estruendo de la autopista se habrá convertido en un "ruido de fondo" mucho menos molesto. En las fábricas, la maquinaria produce también mucho ruido. Una parte del mismo puede ser transmitida a través del suelo o las paredes a las cuales dichas máquinas estén adosadas. Puede reducirse el nivel de ruido introduciendo un material blando y elástico entre la base de la máquina y el suelo para que absorba las vibraciones mecánicas, que son las que producen ondas sonoras y por lo tanto ruido.

El problema consistente en la reducción del nivel de ruido causado por los motores es equivalente al de reducir el ruido producido por una fuente sonora conectada con el exterior mediante conductos tubulares. Hay, básicamente, dos tipos de soluciones: los *silenciadores reactivos*, que interrumpen la transmisión del sonido y lo dispersan a través de cámaras recubiertas internamente con materiales insonorizantes; y los *silenciadores disipativos*, que son los mejores para ruidos producidos en una amplia banda de frecuencias. Los materiales del recubrimiento aislante deben ser resistentes al calor, ya que los gases de escape de los motores, que son los que transmiten el ruido y que al pasar a través de los conductos van a entrar en contacto con dichos materiales, se encuentran a altas temperaturas.

Véase **Aislantes térmicos; Sonido**



Instalaciones eléctricas

La corriente eléctrica (el flujo de electrones que llamamos *electricidad*) se envía de la fuente de energía al punto de utilización (*carga*) por medio de hilos conductores metálicos, normalmente de cobre, que permiten el paso de la corriente. Esos cables están hechos de metal sólido o de hilos finos trenzados, protegidos del exterior por una funda tubular de goma u otro aislante, es decir, un material que no permita el paso de la corriente. El aislamiento protege los hilos de los agentes exteriores y evita las fugas de corriente. Habitualmente los conductores aislados se protegen de nuevo con otra funda tubular, que puede ser de material rígido o flexible.

Para que una instalación eléctrica pueda funcionar se tiene que cerrar el circuito, es decir, la corriente tiene que circular del generador al punto de utilización y volver al generador.

Normalmente la electricidad que llega a una casa o a una fábrica circula por hilos que admiten corrientes grandes. La cantidad de corriente se determina por el flujo de electrones, y su unidad de medida es el *amperio*.

Los distintos aparatos eléctricos necesitan corrientes diferentes. El número de vatios del aparato, es decir, la potencia que consume, está directamente relacionado con el amperaje. Con la tensión habitual en las casas y oficinas de la mayor parte de los países de Europa Occidental (220 vatios) son necesarios 0,45 amperios de corriente para una bombilla de 100 vatios, mientras que se necesitan 0,25 amperios para una bombilla de 60 vatios. La mayor parte de las instalaciones domésticas está pensada para pocas decenas de amperios, mientras que las instalaciones de fábricas tienen que admitir corrientes de centenares de amperios. A medida que los cables se van ramificando para llegar a los distintos puntos de utilización pueden ser más finos, ya que soportan corrientes menores.

Línea activa, neutra y de tierra El registro al que llegan los cables puede tener uno o más hilos activos, que traen la corriente desde la central, y una línea neutra por la que vuelve la corriente al generador. Una línea activa y una neutra forman un *circuito monofásico*; dos líneas activas y una neutra forman un *circuito bifásico*, y tres líneas activas y una neutra forman el *circuito trifásico*. Los cables terminan en conectores en la caja de registro, unidos normalmente a un interruptor automático que protege la línea de posibles sobrecargas de corriente. Al hilo neutro están conectados todos los hilos neutros de los aparatos del edificio. Por ejemplo, en una casa se puede utilizar un grupo de hilos para alimentar los enchufes de una habitación y otro grupo para llevar la corriente a todas las tomas de corriente permanentes para iluminación. En los circuitos más complejos se pueden distribuir los cables a tomas de corriente secundarias llamadas *cajas de empalme*.

Instalaciones en serie y en paralelo La conexión de dos o más dispositivos se puede hacer en serie, en paralelo o con un sistema mixto.

La *conexión en serie* distribuye la corriente de forma sucesiva desde el primer dispositivo al último, de forma que, por ejemplo, si una bombilla no está enroscada en su portalámparas, el circuito se interrumpe, motivando que no se encienda ninguna de las lámparas del mismo circuito. En la conexión de un circuito en paralelo, cada uno de los dispositivos está conectado de forma que recibe corriente aunque haya interrupciones en algún punto del circuito. De hecho, si un dispositivo

no funciona, los demás pueden seguir recibiendo corriente.

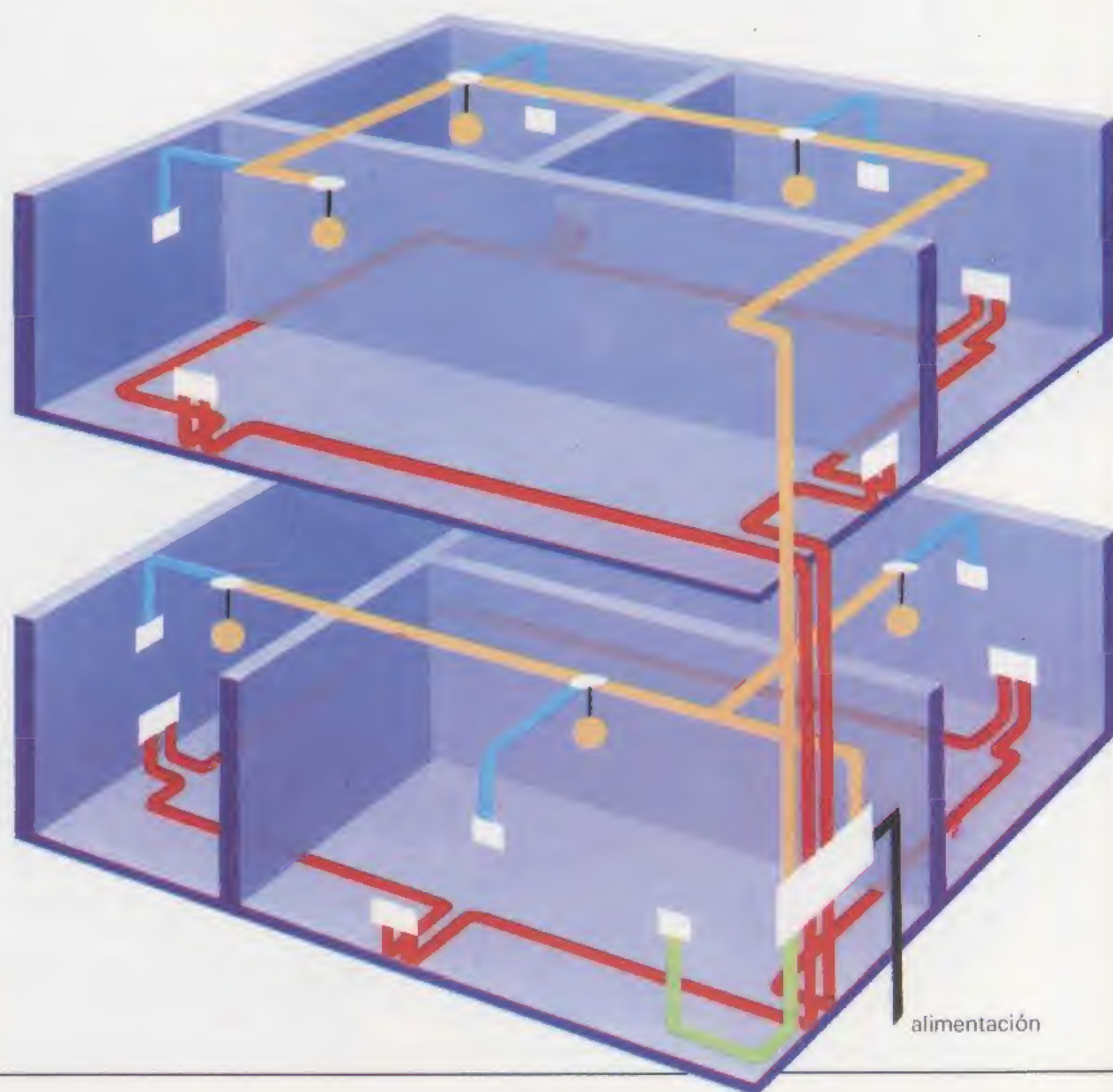
La mayor parte de los circuitos es una combinación de los dos sistemas. Los interruptores y los fusibles están conectados a los hilos en serie, porque su misión es interrumpir el circuito siempre que sea necesario. En cambio, en el mismo circuito, los distintos puntos de utilización están conectados en paralelo para evitar una interrupción no deseada del circuito completo.

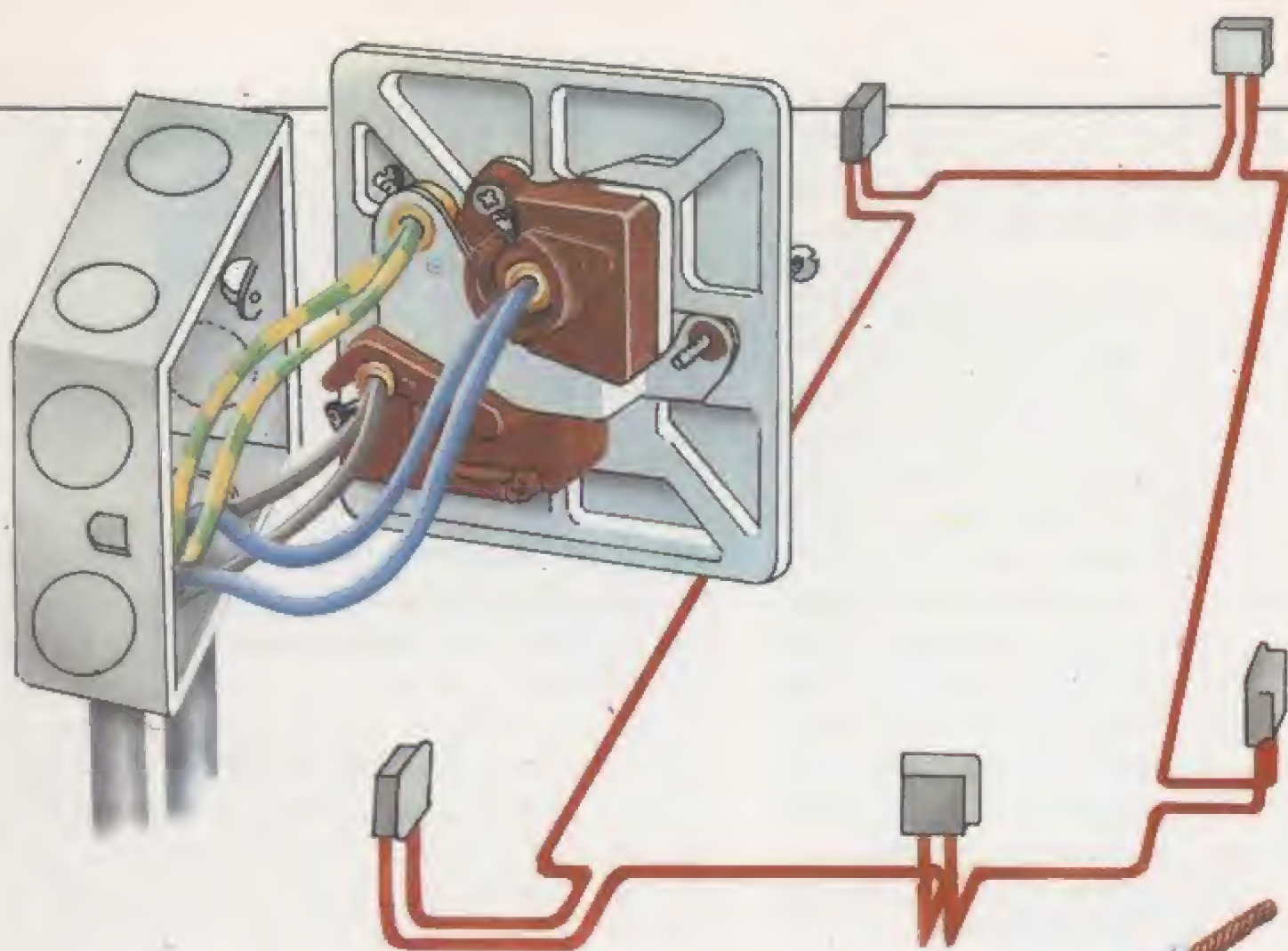
Véase Bombilla; Circuito eléctrico; Disyuntor eléctrico; Electricidad; Toma de tierra

- fuerza
- luz
- para apagar
- conexión

La electricidad es una forma de energía que puede proporcionar luz y calor, y hacer funcionar motores eléctricos. Estos efectos se obtienen al aplicar tensión a los aparatos eléctricos (bombillas, televisores, lavadoras, planchas, etc.) accionando el interruptor que los controla. La tensión es la fuerza que empuja la corriente eléctrica

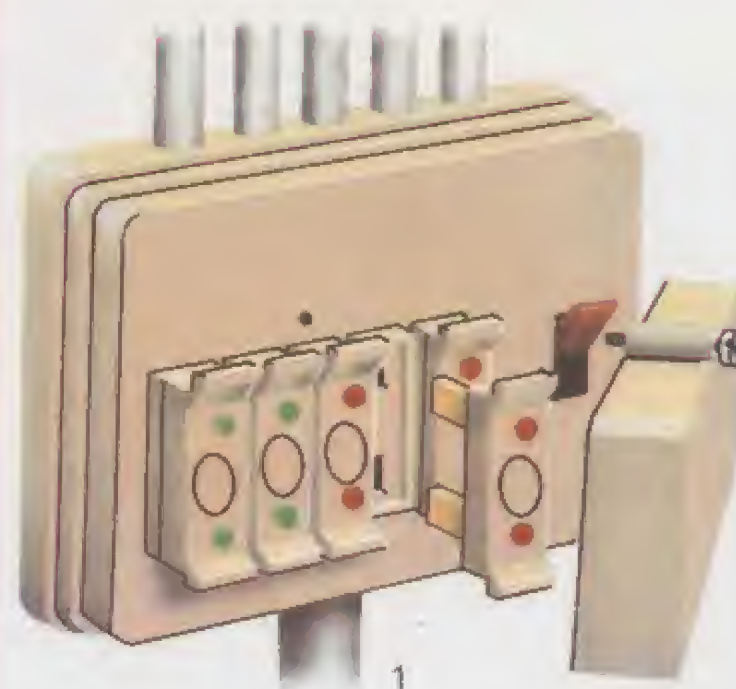
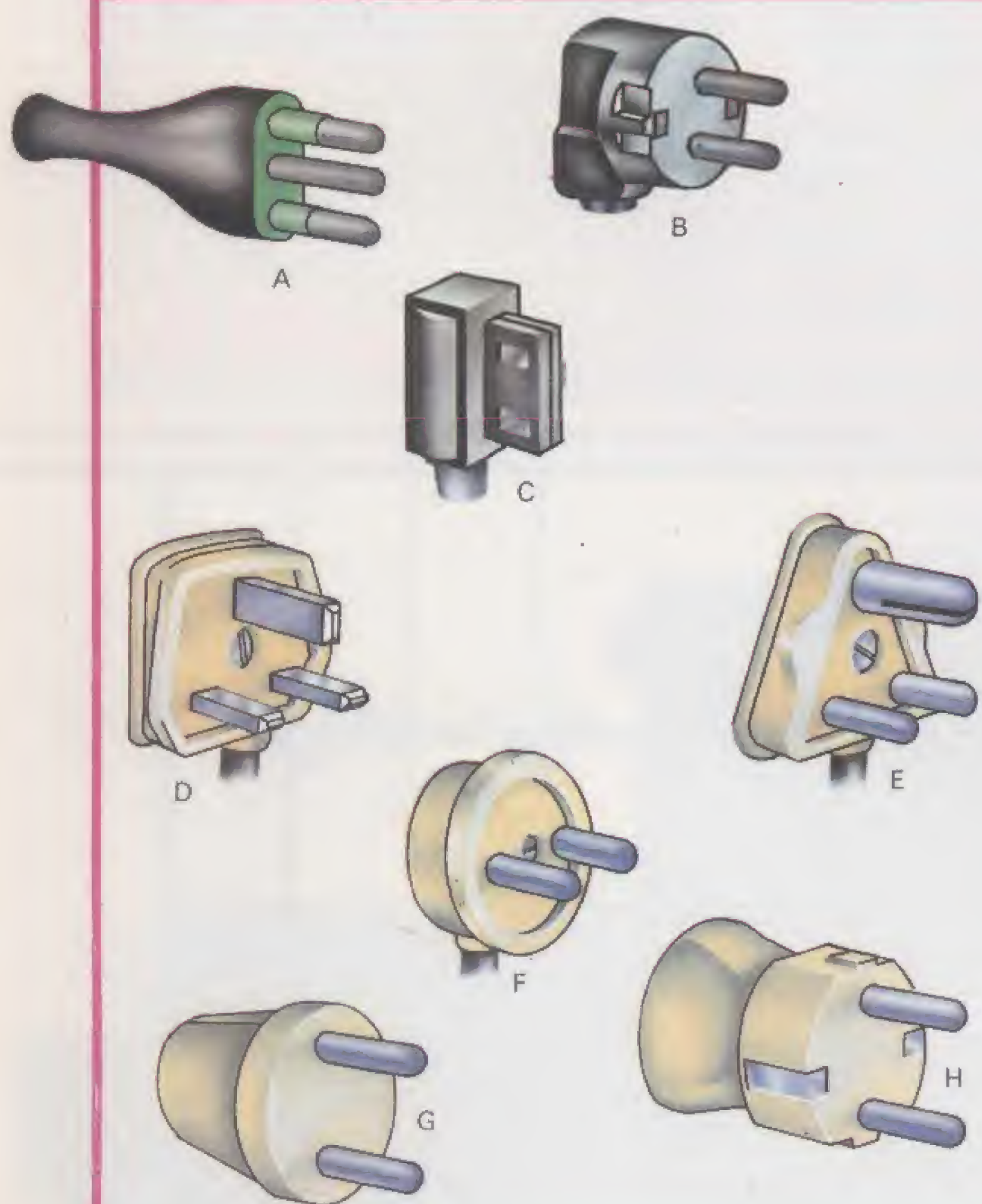
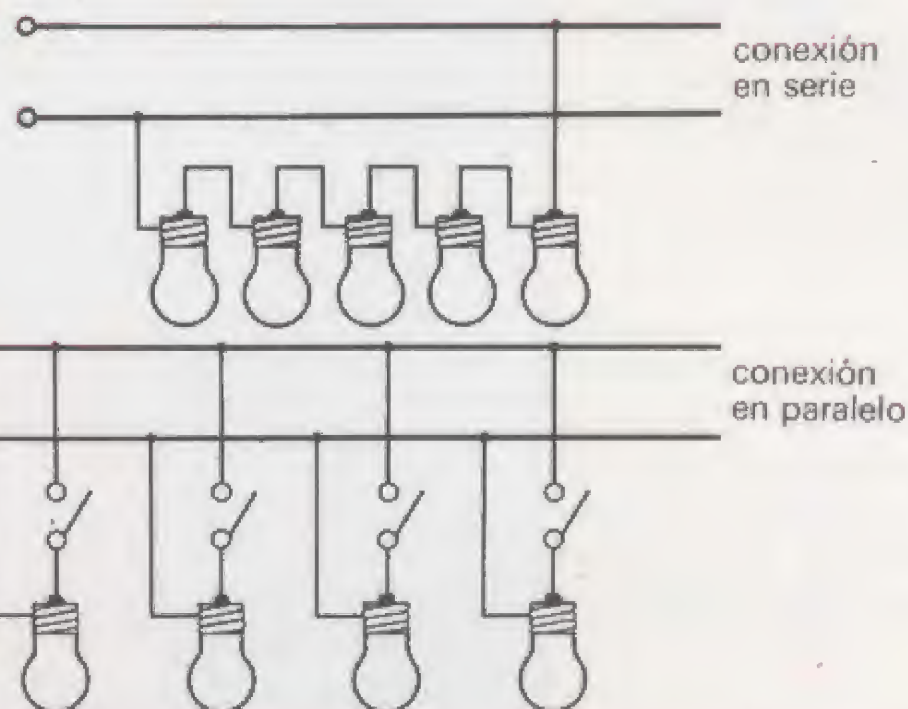
por los conductores. Para transportar corrientes se necesita un conductor de ida (de la línea de alimentación al usuario) y otro de vuelta (del usuario a la línea). En una línea principal en anillo (bajo estas líneas), cada toma de fuerza recibe alimentación por dos canales distintos. Esta solución permite





La estructura de las clavijas de enchufes cambia de un país a otro. Las clavijas A, B y C se utilizan en Italia, y de las tres, sólo la A y la B tienen toma de tierra. Entre las clavijas inglesas (D, E, F), la D es la estándar con fusible, utilizada en los circuitos en anillo; la E es un modelo antiguo con tres patillas, de 15 amperios; la F se utiliza para corrientes bajas. Las clavijas G y H —esta última con toma de tierra— se utilizan en Holanda. Debe tenerse presente que si se hace circular una corriente muy alta

por los cables de la instalación, se calientan, el aislante tiende a carbonizarse y pierde sus propiedades. En un cable como el que se ve a la izquierda podrían hacer contacto los tres hilos, produciéndose un cortocircuito. Para proteger la instalación, se introducen en serie con los cables algunos fusibles (abajo), formados por un hilo metálico de resistencia elevada y baja temperatura de fusión. Los fusibles pueden ser enchufables (1) o de cartucho, enroscado en un portafusibles (2).



→ ahorrar cobre, porque si se alimentara cada toma con un cable independiente serían necesarios cables mucho más largos. Además, en este caso, los conductores pueden tener una sección menor, ya que por cada zona del circuito circula una

parte de la corriente. En el circuito de que hablamos, cada uno de los enchufes tiene un fusible que protege el aparato que se conecte. En todos los terminales y enchufes del circuito en anillo hay un par de hilos para cada entrada y otro para la salida de

corriente. En esta página, arriba, a la izquierda, se puede ver un cable flexible que tiene tres hilos forrados con fundas aislantes de distintos colores. Los colores de los aislantes tienen la misión de facilitar el reconocimiento de los hilos cuando

se efectúan las conexiones del enchufe. El conductor neutro es de color azul, los que llevan una fase son de color marrón o negro, y el de tierra es amarillo y verde. A su derecha, recuadro con esquemas de conexiones en serie y en paralelo.



Instalaciones sanitarias

La comodidad y simplicidad del actual cuarto de baño constituyen uno de los principales motivos de orgullo de la civilización moderna. Hasta no hace mucho —hasta finales del siglo XVIII, para ser exactos— se utilizaba un jarrón de agua fresca y una palangana para efectuar el aseo diario, y un orinal colocado sobre un taburete bajo completaba las "instalaciones" higiénico-sanitarias. En muchas civilizaciones antiguas, y en algunas actuales, se utilizaba el río o curso de agua más cercano como bañera, fregadero y retrete.

Sin embargo, no sería correcto decir que el hombre ha necesitado todo este tiempo para concebir un cuarto de baño. A juzgar por los hallazgos de los arqueólogos, en las barracas de piedra de las islas Orcadas, al norte de Escocia, hace ya 10.000 años existían tuberías higiénico-sanitarias en el interior de las casas. Además, hoy en día muchas zonas subdesarrolladas estarían sin duda en mejores condiciones si contasen con algo parecido a las tuberías de arcilla, completadas con letrinas con evacuadores, que existían en el interior del palacio real de Minos en Creta, construido hace 4.000 años.

La moderna instalación hidráulico-sanitaria está a disposición de muchas más personas y el cuarto de baño ya no es un lujo reservado a los soberanos egeos, sino una necesidad fundamental de las sociedades contemporáneas en las cuales la limpieza e higiene se han convertido en indispensables. La mayor parte de los cuartos de baño cuenta con un *water*, un

lavabo y una bañera o una ducha (a menudo una combinación de ambas); en ciertas viviendas existe también un bidé.

La bañera La bañera es utilizada para el aseo personal y también para terapias a base de agua. Los principios higiénicos modernos recomiendan el baño en privado, pero en la época de los romanos darse un baño significaba no sólo lavarse, sino también establecer contactos sociales y culturales. Las enormes y bellamente decoradas termas de Caracalla, construidas entre el 217 y 211 a. de C., podían acoger hasta 16.000 personas. Como el jabón no se había inventado aún, para lavarse los romanos se restregaban con arena y hojas y pétalos de algunas plantas.

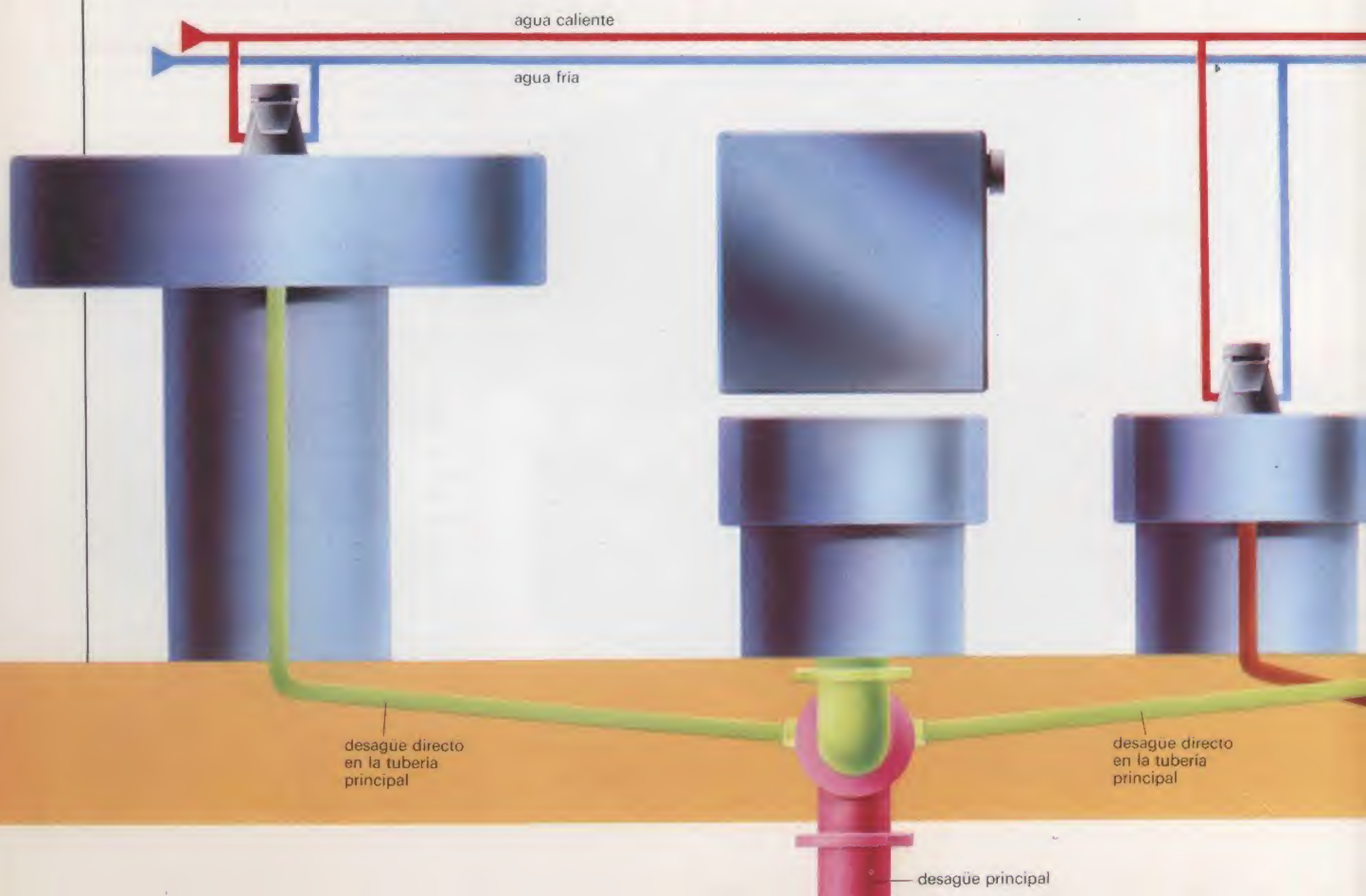
Durante La Edad Media la higiene personal no constituía precisamente una de las más importantes necesidades sociales, y el esplendor de las termas romanas no continuó. Los palacios de los gobernantes y los aristócratas contaban con bañeras que se apoyaban en el pavimento, hechas de madera o metal, en las que se vertía agua hirviendo. Este tipo de bañeras precedió a las de metal de los siglos XVIII y XIX, que permitían al que se daba el baño tenderse en ellas a todo lo largo.

A finales del siglo XIX comienza a incorporarse a las viviendas las tuberías higiénico-sanitarias, apareciendo también los modernos equipos sanitarios. La bañera tradicional de hierro fundido, apoyada sobre pies del mismo material, dejó lugar a la bañera de cerámica construida junto

a una de las paredes e inserta en el pavimento, escondiendo todas las tuberías y cualquier traza de instalación hidráulica. Actualmente las bañeras van provistas de grifos separados para el agua fría y caliente y de un sumidero (abertura por la que se desagüa), un tapón metálico o de goma (que bloquea el sumidero y permite que la bañera se llene de agua) y una abertura en forma de rejilla puesta en la parte superior de la bañera para evitar que el agua se derrame alcanzado cierto nivel. Estos son también los elementos de los modernos lavabos.

La ducha Muchas bañeras tienen una válvula que al accionarse trasvasa el flujo del agua del grifo a una "alcachofa" o pieza agujereada por donde sale el agua esparciéndose en hilillos. Las alcachofas de las duchas son, la mayor parte, regulables y pueden cambiar la intensidad del chorro (de más débil a más fuerte). Algunos modelos sofisticados pueden hacer vibrar el agua, produciendo el efecto de un masaje.

En la práctica, hoy las duchas son una instalación estándar de casi todos los baños modernos, por una buena razón: las duchas consumen generalmente menos agua que las bañeras, factor importante en los lugares donde la conservación o la falta de agua constituyen un problema; además, la instalación de la ducha requiere, de ordinario, menos espacio que el que se precisa para colocar una bañera, y esta cuestión no es desdeñable.



El lavabo El lavabo es un pequeño recipiente, generalmente de porcelana, destinado al aseo personal de manos y cara, que posee un par de grifos reguladores de la salida del agua caliente o fría y un desagüe por el que se elimina el agua utilizada. Suele ir instalado en la pared, a la altura de la cintura.

El *grifo*, tanto si es para el lavabo como para la bañera, no es otra cosa que un aparato que sirve para abrir, cerrar o regular el paso del agua, mediante un obturador accesible desde el exterior. El agua que se suministra a las casas está presurizada por la gravedad o por medio de bombas mecánicas: esto significa que si un grifo permanece abierto, el agua continuará saliendo hasta que se cierre completamente. Cualquier dispositivo de contención

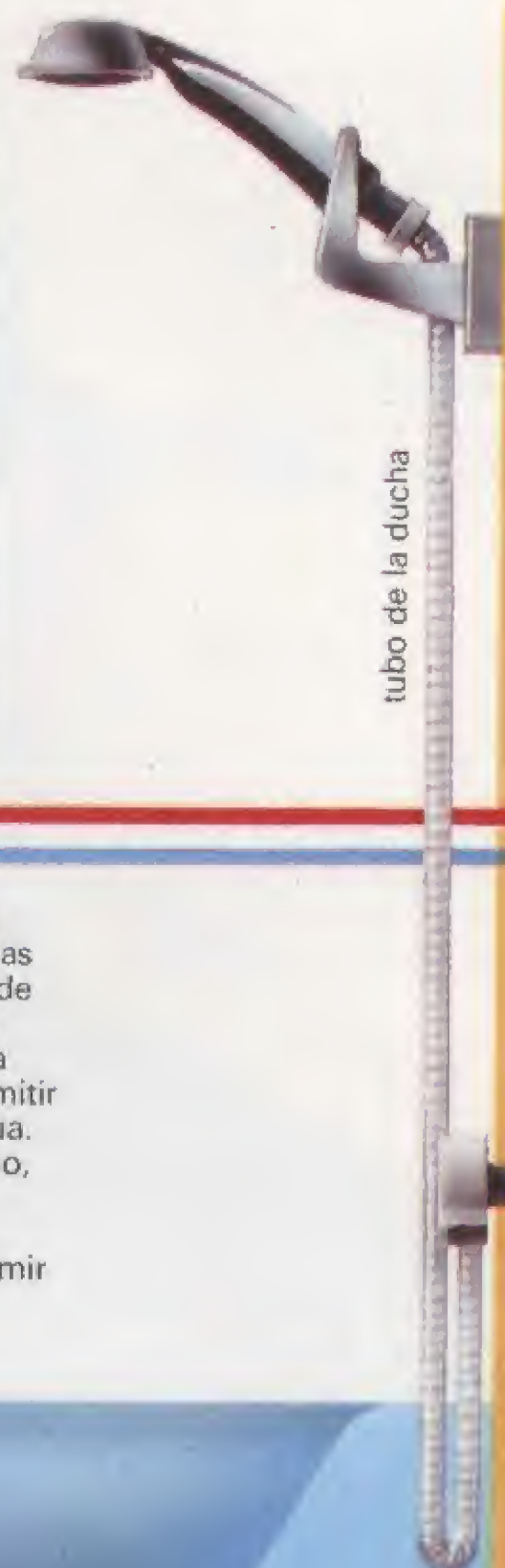
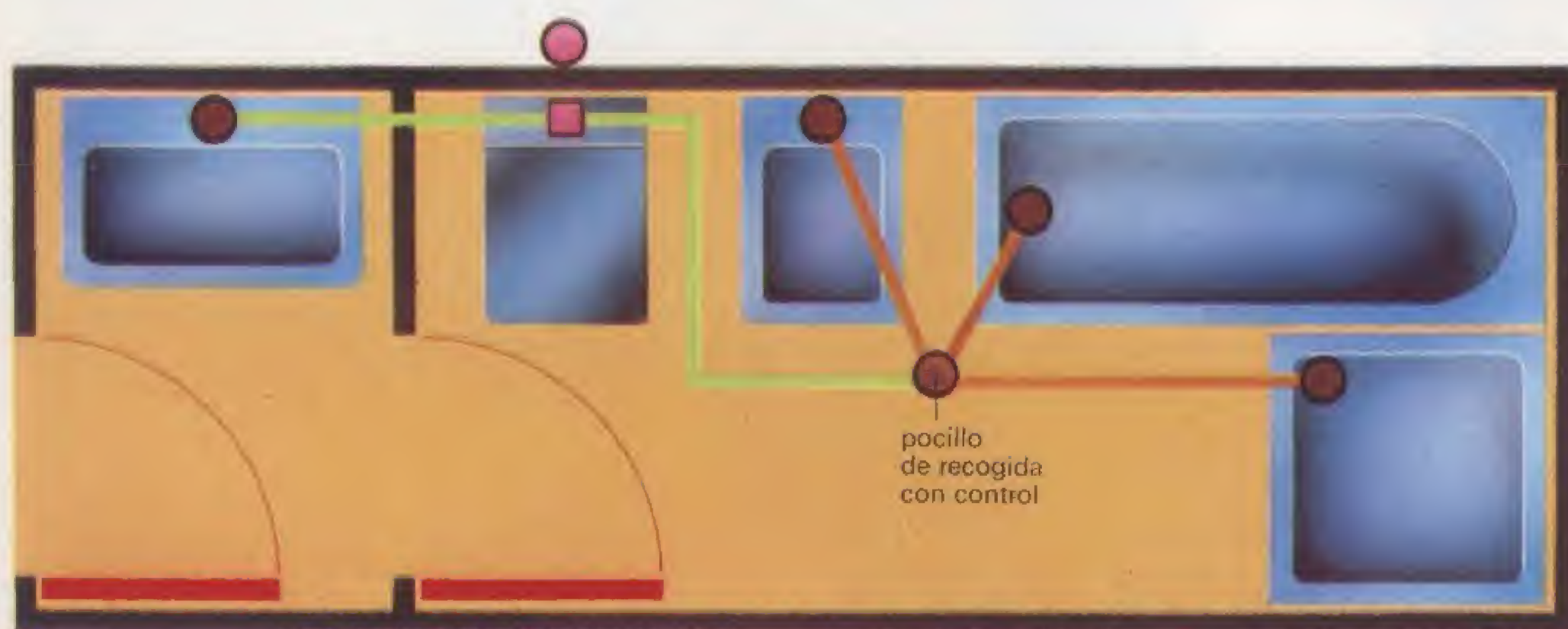
que no sea perfecto provocará una pérdida: el tamaño de la abertura por donde se escape el agua determinará la entidad de la pérdida.

Un grifo está formado por una pieza metálica tubular acodada denominada *canilla* y por un conjunto de piezas de cierre que, moviéndose dentro de la canilla, abren o cierran el paso del líquido.

En los grifos de baño o de plato la canilla tiene un ensanchamiento de forma cónica, donde encaja una espiga denominada *macho*. La salida del líquido se hace por la base inferior del macho y la obturación se efectúa por presión de una zapa sobre un asiento de metal. Estos mecanismos no ofrecen una contención perfecta debido a que las superficies metálicas se desgastan fácilmente a causa del

roce; por tanto, es difícil evitar que el agua presurizada se escape por las pequeñas aberturas debidas a la deformación plástica, contrariamente a lo que sucede con la goma.

El water El dispositivo sanitario más importante de un cuarto de baño moderno es el *water* (o retrete), contenedor de cerámica que recoge los excrementos y los conduce hasta los alcantarillados municipales. El *water* dotado con agua corriente es una invención relativamente moderna, pues aparece a fines del siglo XIX; anteriormente las materias fecales se vertían en acequias o arroyos, que a menudo contaminaban las reservas de agua local, provocando epidemias de disentería y fiebre tifoidea. El descubrimiento



tubo de la ducha

agua caliente

agua fría

En estas dos páginas, una vista de perfil y en planta de las tuberías llenas de agua, instaladas en las paredes y en el pavimento para llevar agua fría y caliente a los sanitarios del cuarto de baño y para transportar a los canales de recogida

el agua una vez utilizada. El diseño de los tubos está hecho de manera que sean fáciles de montar y desmontar, si es necesario. Los tubos que llevan el agua a los grifos se cruzan, lo que exige que se doblen y que el espesor de la pared que los contiene sea

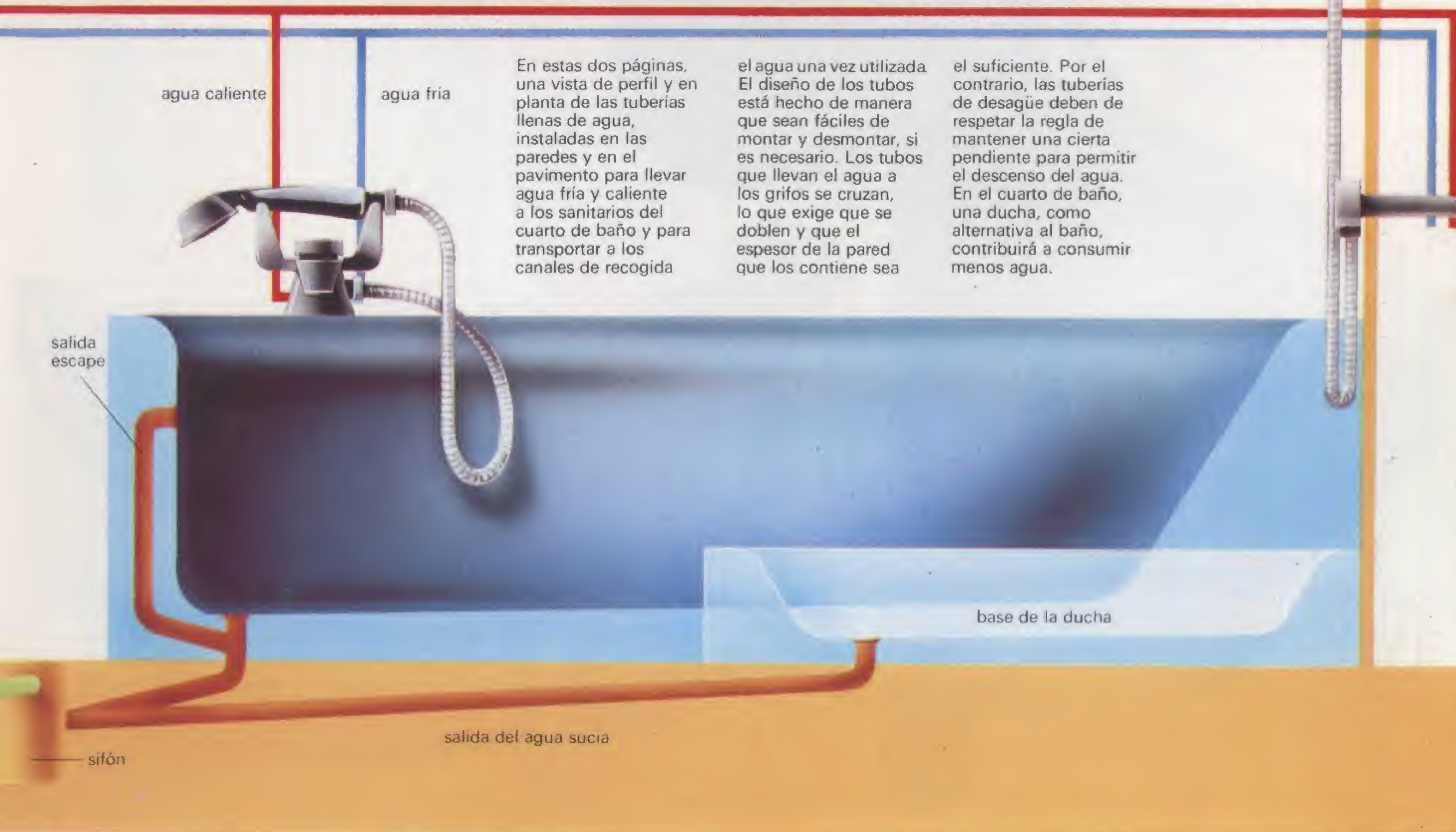
el suficiente. Por el contrario, las tuberías de desagüe deben de respetar la regla de mantener una cierta pendiente para permitir el descenso del agua. En el cuarto de baño, una ducha, como alternativa al baño, contribuirá a consumir menos agua.

salida escape

base de la ducha

salida del agua sucia

sifón



científico que estableció la relación existente entre el tifus y la falta de buenas condiciones higiénicas fue lo que propició, por parte de la opinión pública, la exigencia de una mejor regulación sanitaria.

El *water* moderno ha incorporado un *sistema de expulsión* simple y muy eficiente: el agua corriente cae de golpe en la taza, arrastrando consigo todos los desechos e impulsándolos velozmente por las tuberías. Estas tuberías que transportan los excrementos hacia el exterior se conocen como *tuberías de descarga de aguas negras*.

El agua que se utiliza en el sistema de la expulsión está contenida en un depósito (cisterna) colocado sobre la taza o justo detrás. La cisterna de retrete fue inventada en 1889 y ya funcionaba por el mismo principio que las actuales. Las de hoy, de línea más funcional y hechas de cerámica o materiales plásticos, son evoluciones de las primitivas de hierro colado.

Al apretar la palanca de la parte superior (o tirar de la cadena), se ceba un sifón que succiona el agua de la cisterna por una tubería, yendo a salir por todo el reborde de la taza. Al irse vaciando la cisterna, desciende una boya, o flotador, sujeta al mecanismo y un sistema de palancas abre la válvula que cerraba la entrada de agua desde la cañería de la red de distribución.

Sanitarios e instalación hidráulica El buen funcionamiento de los sanitarios depende de la instalación hidráulica con que cuentan. En una vivienda existen dos redes separadas de tuberías, que se pueden comparar al sistema circulatorio humano. El *sistema de aprovisionamiento* lleva agua potable limpia a las bañeras, lavabos, lavaplatos, lavadoras y otros sanitarios de

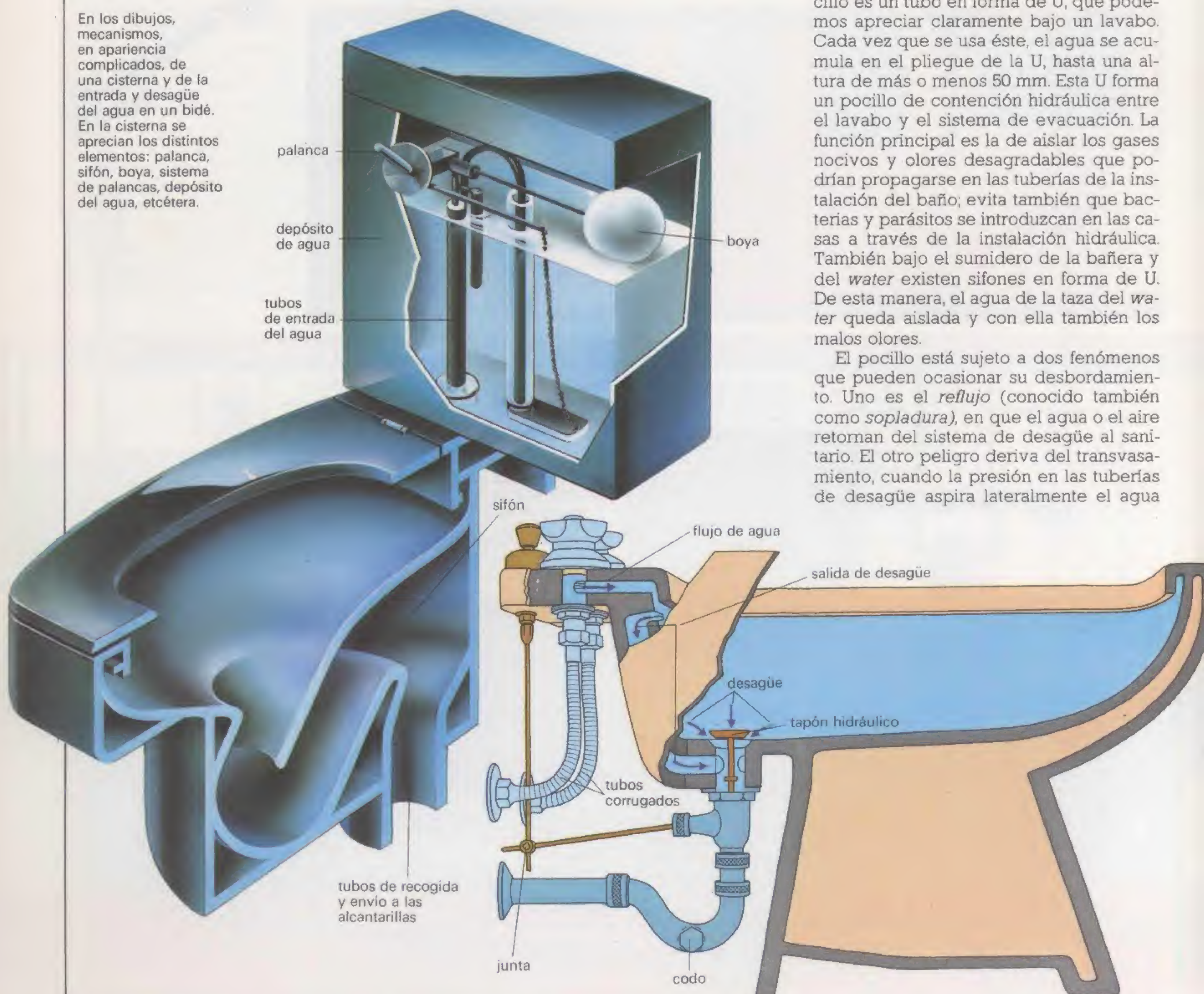
la instalación hidráulica, así como las arterias del hombre llevan a todos los órganos del cuerpo la sangre oxigenada. El *sistema de evacuación* conduce los desechos sólidos y el agua sucia al exterior a través de los desagües locales, de igual modo a como las venas conducen a los pulmones la sangre sin purificar.

Los sanitarios funcionan como enlace entre los dos sistemas y representan un punto crítico en cualquier sistema higiénico. Así como la corriente eléctrica "salta" si se tocan dos hilos equivocados, la instalación hidráulica "salta" si el sistema de descarga entra en contacto con el de aprovisionamiento de agua: es el caso, por ejemplo, de un atasco. Para prevenir esta eventualidad se han desarrollado una serie de protecciones del sistema hidráulico.

El mecanismo más simple y más usado es el *pocillo de intervención* colocado bajo el desagüe de cada sanitario. El pocillo es un tubo en forma de U, que podemos apreciar claramente bajo un lavabo. Cada vez que se usa éste, el agua se acumula en el pliegue de la U, hasta una altura de más o menos 50 mm. Esta U forma un pocillo de contención hidráulica entre el lavabo y el sistema de evacuación. La función principal es la de aislar los gases nocivos y olores desagradables que podrían propagarse en las tuberías de la instalación del baño; evita también que bacterias y parásitos se introduzcan en las casas a través de la instalación hidráulica. También bajo el sumidero de la bañera y del *water* existen sifones en forma de U. De esta manera, el agua de la taza del *water* queda aislada y con ella también los malos olores.

El pocillo está sujeto a dos fenómenos que pueden ocasionar su desbordamiento. Uno es el *reflujo* (conocido también como *sopladura*), en que el agua o el aire retoman del sistema de desagüe al sanitario. El otro peligro deriva del transvasamiento, cuando la presión en las tuberías de desagüe aspira lateralmente el agua

En los dibujos, mecanismos, en apariencia complicados, de una cisterna y de la entrada y desagüe del agua en un bidé. En la cisterna se aprecian los distintos elementos: palanca, sifón, boya, sistema de palancas, depósito del agua, etcétera.



del pocillo o rompe la goma de contención. Ambos problemas están relacionados con la presión en las tuberías y los dos se resuelven con un buen sistema de aireación.

Algunos edificios poseen respiraderos en el techo que van conectados a un sistema de chimeneas de aireación unidas a través de tuberías a las de los sanitarios, permitiendo así que éstas puedan aspirar aire de la chimenea de aireación cuando la presión del aire en las tuberías de agua se encuentre muy baja; cuando, por el contrario, la presión es demasiado alta, el aire puede salir con fuerza por la chimenea.

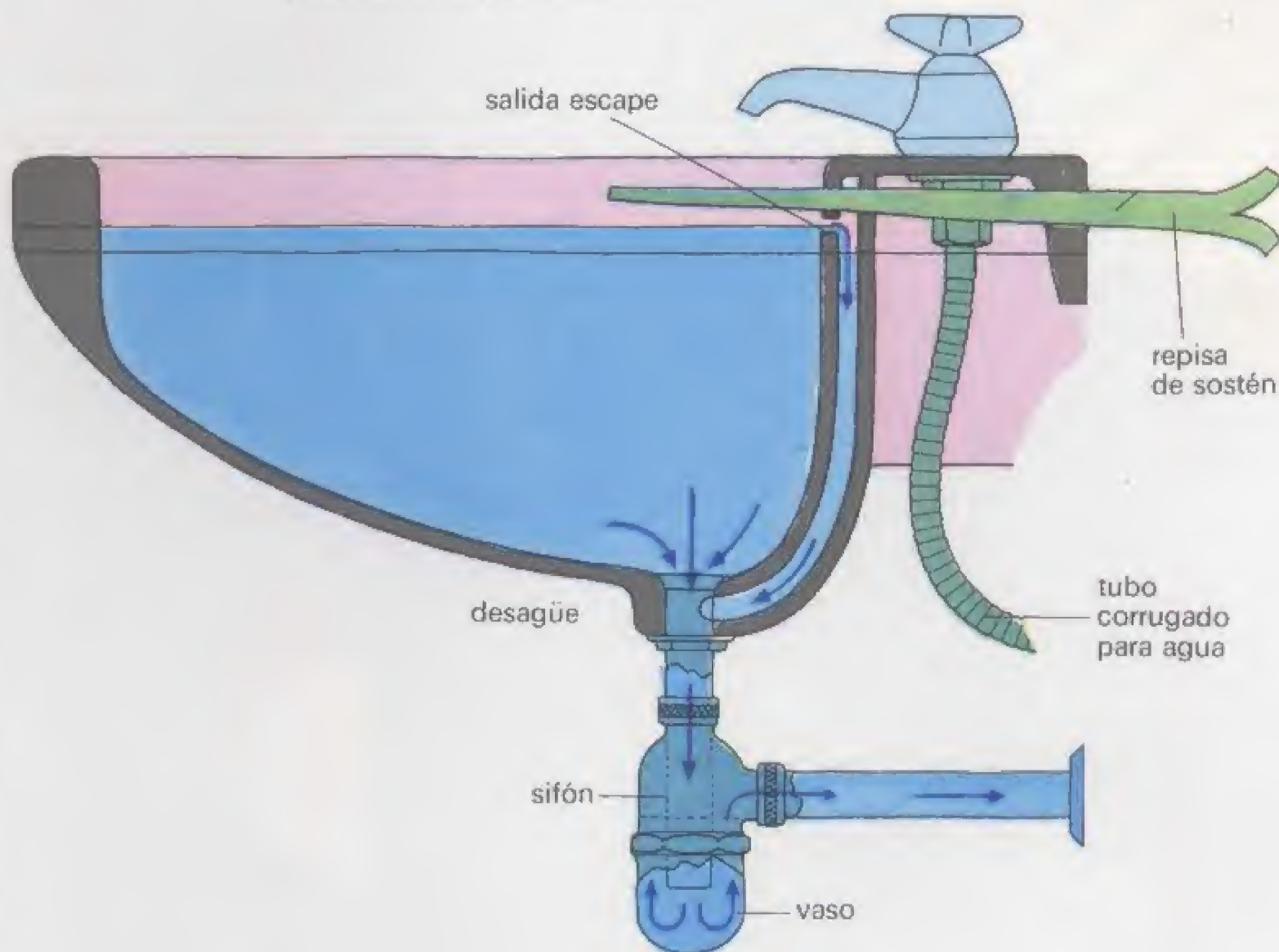
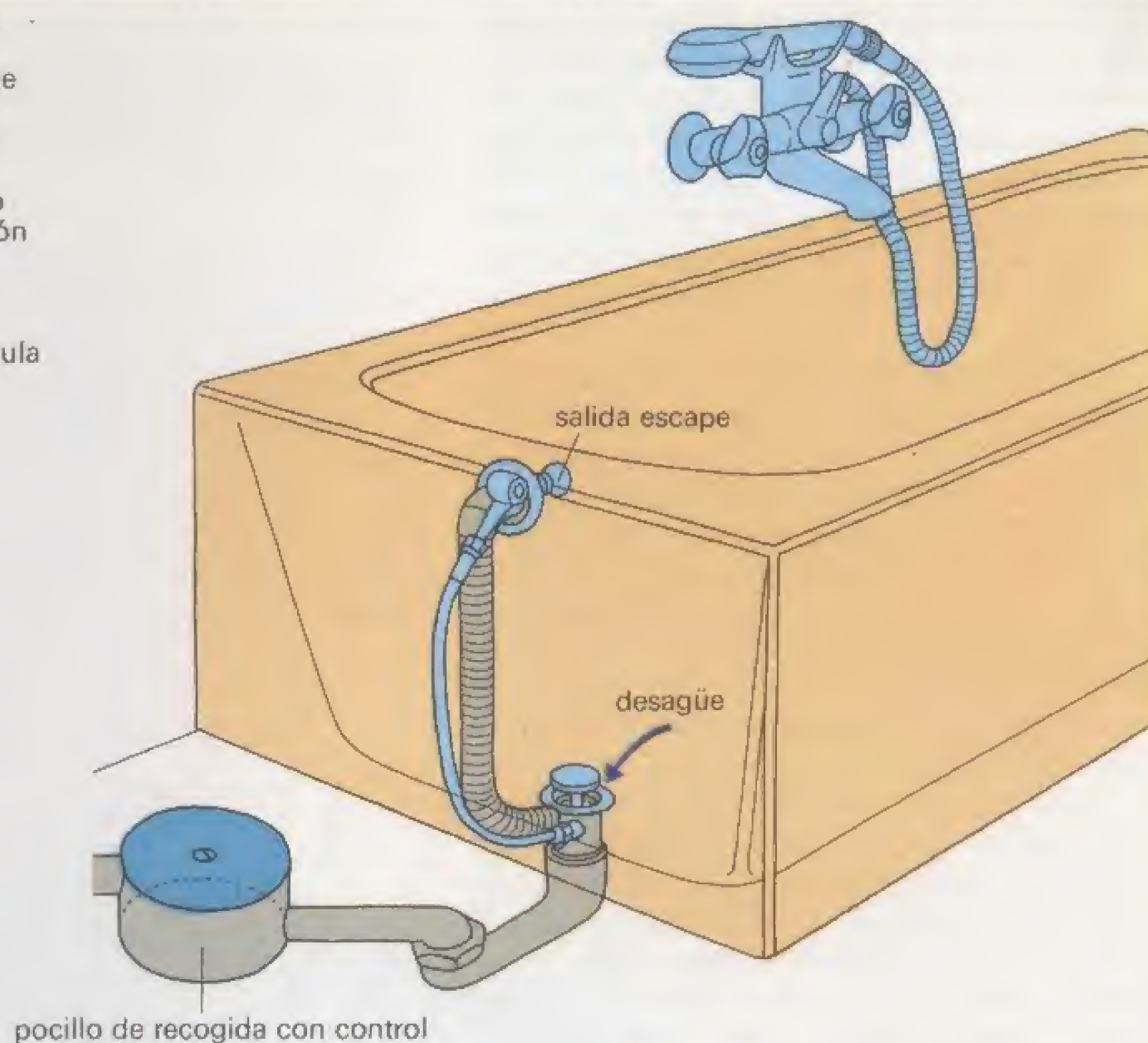
Este sistema es necesario, ya que cuando el agua corre a través de tuberías de poco diámetro a alta velocidad tiende a aspirar aire en su recorrido, creando un desequilibrio de presión. En algunas circunstancias esta situación puede crear el vacío. Si el vacío es lo suficientemente fuerte, aspirará o transvasará el agua fuera del pocillo, lo que podría producir una inundación. Con el sistema de aireación, en cambio, la reabsorción creada por el vacío parcial llevará aire al pocillo, restableciendo el equilibrio.

La situación opuesta se puede verificar cuando la presión del aire en las tuberías de desagüe es más bien alta. Si, por ejemplo, la presión del aire en el interior de las tuberías supera repentinamente la presión atmosférica (como sucede cuando entra aire en las tuberías con el agua que corre a velocidad), el aire presurizado tiende a salir del pocillo. Con un sistema de aireación adecuado, el aire sale por la chimenea sin producir daños, hasta que se retorna a una presión estable.

Las variaciones en la presión atmosférica y en la presión del agua hacen necesaria otra importante medida de protección. La boca del grifo de las bañeras está siempre colocada sobre el borde más alto; esto es así para evitar el *reflujo*. Este raro fenómeno puede ocurrir cuando la presión atmosférica supera la del agua de las tuberías que transportan el agua limpia a las casas, de manera que la atmósfera "comprima" al agua con mayor fuerza que ésta respecto de aquélla. Al discurrir de arriba hacia abajo, pasa de una presión más alta a una más baja. Si una bañera estuviese llena hasta el borde con una presión desigual y la boca del grifo estuviese bajo el borde de la bañera, la presión atmosférica impulsaría nuevamente el agua de desagüe dentro del grifo, contaminando las tuberías y quizá hasta las reservas de agua.

Las modernas tuberías son usualmente de bronce, cobre o acero inoxidable. Esto constituye una mejora respecto a las de los antiguos romanos, quienes llegaron a idear una distribución de agua por medio de tuberías, pero lamentablemente las construyeron de plomo, metal tóxico, sin saber que esto podía provocar envenenamientos.

Teniendo en cuenta que el desagüe de una bañera hace que el agua baje a una tubería situada bajo el pavimento, es necesario un pocillo para la sedimentación de las eventuales impurezas a fin de evitar atascos. La flecha indica la válvula de desagüe.



También el lavabo necesita un pozo de recogida de los desechos que podrían obstruir las tuberías. Este pocillo funciona también de sifón. Aquí lo podemos apreciar desmontado; para efectuar una revisión, basta con desatornillar el vaso.

Instrumentos musicales

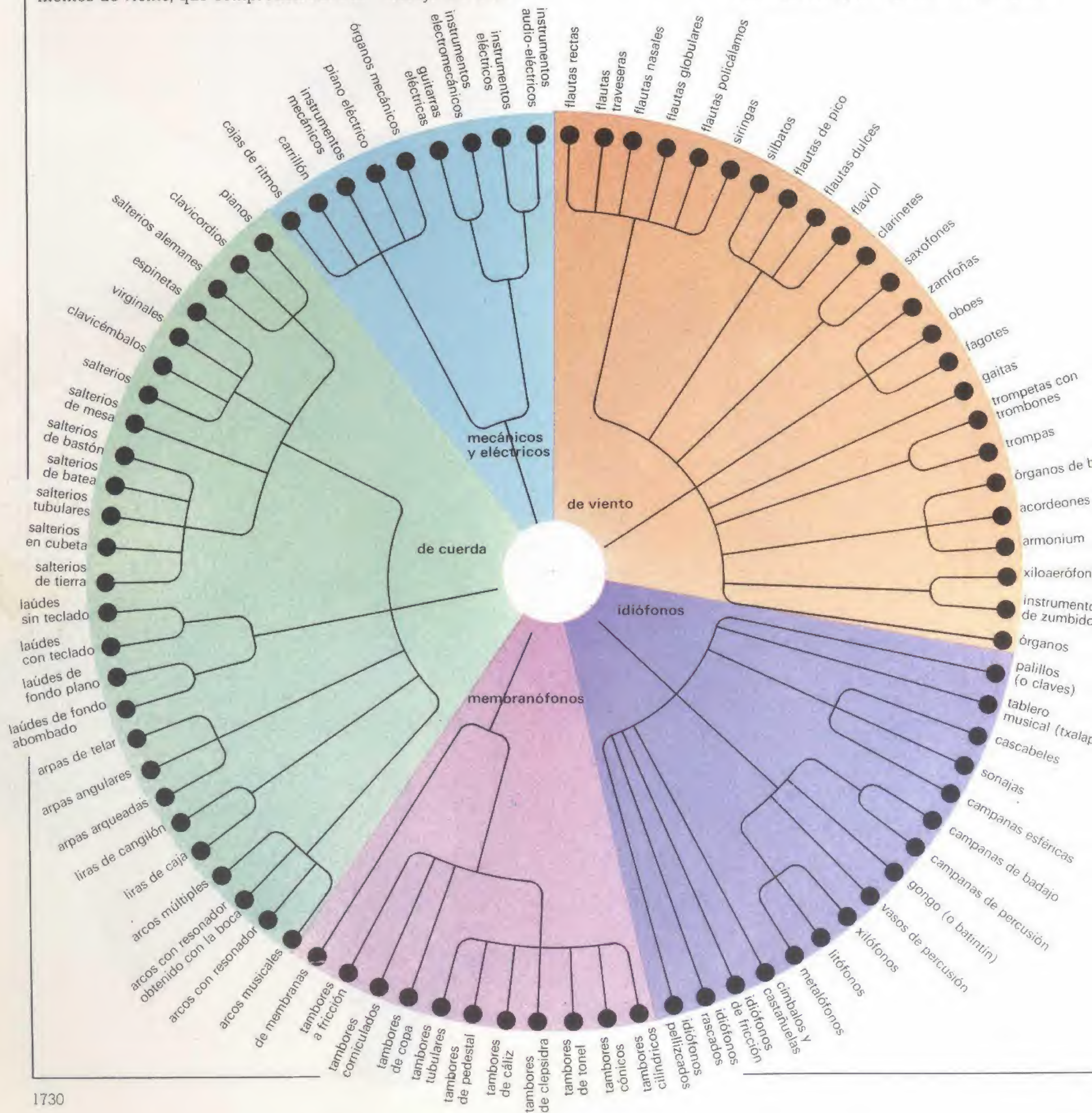
Si se piensa que los primeros instrumentos musicales fueron objetos naturales con los que se podía producir sonidos agradables —conchas de moluscos y cuernos de animales, por ejemplo—, es fácil comprender por qué los instrumentos musicales de las más diversas culturas del mundo son extraordinariamente similares.

Un instrumento musical es un dispositivo con el cual se pueden producir sonidos de diferente elevación con distintos tonos. Los principales tipos de instrumentos musicales son: *instrumentos de cuerda*, como arpas, violines y guitarras; *instrumentos de viento*, que comprenden tanto la

madera (clarinete) como el metal (trompa); *instrumentos de percusión* (tambores y gongos); e *instrumentos de teclado*, entre los que el órgano y el piano son los más notables.

Instrumentos de cuerda Probablemente, el primer instrumento de cuerda haya sido el "arco musical", instrumento moldeado en forma de arco de caza. La cuerda tensa podía ser golpeada con una varita o pellizcada con los dedos, y el sonido producido era reforzado mediante un resonador rudimentario: una vasija, una calabaza vacía o una caracola colocada debajo del arco.

Para comprender el funcionamiento de los modernos instrumentos de cuerda examinaremos la forma en que está construido el violín, instrumento que, por la amplia gama de sonidos expresivos y agradables que puede producir, constituye uno de los elementos sustentantes de la orquesta moderna. Por encima de la *tapa* (o tabla armónica superior) del *cuerpo del violín* (en el que aparecen recortados los característicos orificios en "f"), soportadas por el *punte* y sujetas mediante *clavijas*, se encuentran, tensas, en la parte superior del mástil, cuatro *cuerdas* de metal o de tripa de animal. Las vibraciones comunicadas por el puente son propaga-



El diagrama representado en la página anterior describe la base para la clasificación de los instrumentos musicales. Con este sistema, adoptado ya por los musicólogos de todo el mundo, los instrumentos musicales han sido subdivididos en base a las modalidades según las cuales es producido el sonido. A partir, pues, de las cinco categorías principales —es decir, idiófonos, aerófonos, instrumentos mecánicos y electrónicos, de cuerda y de membrana, situados en el centro del diagrama— la subdivisión aquí expuesta se irradia hacia todos los demás tipos de instrumentos. La orquesta (abajo) es quizá el más famoso complejo instrumental que se conoce en la música occidental. Los conciertos ejecutados por una orquesta se mueven en el espacio a través de una notable variedad de géneros musicales. La ilustración de la derecha indica, de arriba a abajo, la introducción de los distintos instrumentos musicales en la orquesta.

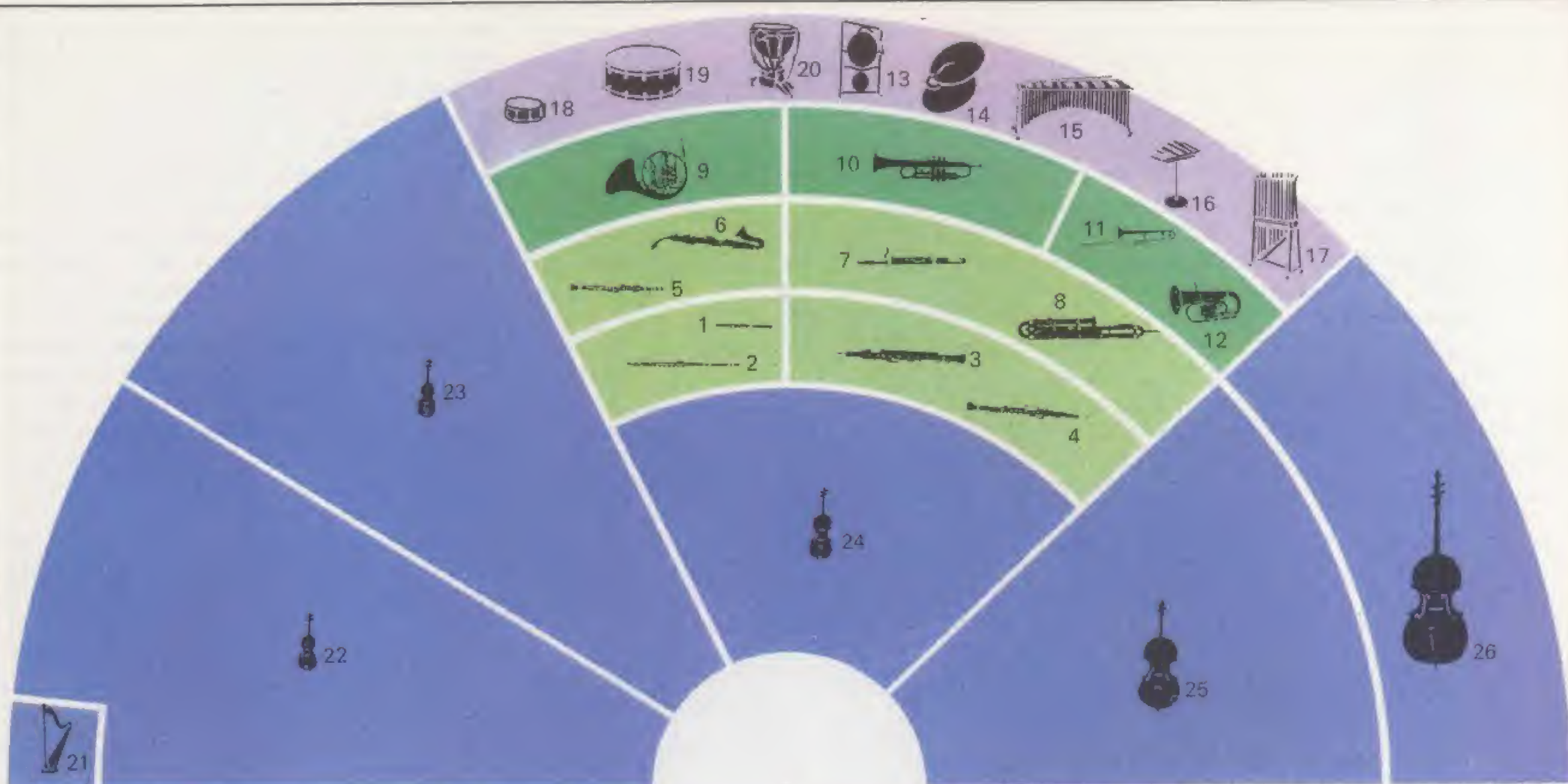


das a la tapa por medio de una pieza de madera, llamada *cadena* o *barra*, fijada dentro del cuerpo del violín en dirección paralela a las cuerdas. En el interior del violín, colocada de forma que sostenga el puente, se encuentra el *ánima*, un pequeño cilindro de madera con un diámetro de alrededor de medio centímetro, que transmite las vibraciones de la tabla armónica superior hasta la tabla armónica inferior, o *fondo del violín*. El *ánima* está situada exactamente debajo del puente. Cuando el violinista pellizca las cuerdas o desliza sobre ellas un *arco* hecho de crines de caballo, la vibración se transmite a todo el instrumento.

La nota fundamental de cada cuerda está determinada por su tensión, por su longitud y por su diámetro. La cuerda de *mi*, que es la más delgada, produce la nota más aguda; la cuerda de *sol*, la más grave de las cuatro, es una cuerda gruesa; las dos cuerdas que se encuentran en el centro tienen un diámetro intermedio. Para afinar el instrumento se van girando las diversas clavijas, a las cuales están sujetos los extremos de las cuerdas, hasta obtener la tonalidad correcta.

Para producir otras notas, el violinista puede regular la longitud de cada cuerda





La disposición de los instrumentos en una orquesta está dictada por exigencias técnicas y sonoras (arriba). Los instrumentos están divididos según su pertenencia a uno de los cuatro grupos principales, esto es: madera, metal, de percusión y de cuerda (derecha). Su colocación va dirigida

a obtener la fusión ideal entre los sonidos y facilitar la ejecución de cada instrumentista con objeto de lograr el mejor entendimiento entre las diversas partes orquestales. El diagrama de la página siguiente muestra una confrontación entre las extensiones de algunos instrumentos musicales trasladados al teclado del piano.

INSTRUMENTOS DE MADERA

- 1 flautín
- 2 flauta
- 3 oboe
- 4 corno inglés
- 5 clarinete
- 6 clarinete bajo
- 7 fagot
- 8 contrafagot

INSTRUMENTOS DE METAL

- 9 trompas
- 10 trompetas
- 11 trombones
- 12 tubas

INSTRUMENTOS DE PERCUSION

- 13 tam-tam
- 14 platillos
- 15 xilófonos
- 16 glockenspiel (o lira)
- 17 campanas tubulares (o tambor militar)
- 18 tambor de bordón
- 19 bombo
- 20 timbales

INSTRUMENTOS DE CUERDA

- 21 arpa
- 22 primeros violines
- 23 segundos violines
- 24 violas
- 25 violonchelos
- 26 contrabajos

apretándola contra el mástil. La cuerda queda acortada durante todo el tiempo en que el dedo la oprima. Cuanto más cercana al puente sea la posición en que se aprieta, tanto más aguda resultará la nota producida.

Con el arco del violín el músico controla la expresividad, la intensidad y la duración de cada nota. A diferencia del arco de caza, la madera del arco del violín está combada sólo ligeramente con respecto a las crines del caballo y de este modo es posible un mejor control del sonido. El músico puede regular la tensión de las crines de caballo girando un botón en el extremo del arco. Para producir sonidos diferentes, se puede hacer rebotar el arco sobre las cuerdas, se le puede deslizar hacia adelante y hacia atrás con gran rapidez o bien puede rozarse sólo ligeramente. El arco puede asimismo ser doblado mucho más de lo normal o tocar sobre dos cuerdas simultáneamente.

No todos los instrumentos de cuerda se tocan con arco —la guitarra es un ejemplo de instrumento de cuerda sin arco—, pero, en todo caso, lo realmente importante para la calidad del sonido producido es el sistema de acoplamiento de las cuerdas al cuerpo del instrumento.

Otros miembros de la familia de los instrumentos de arco son la *viola*, el *violon-*

chelo y el *contrabajo*, todos ellos más grandes que el violín y adaptados para producir un sonido más grave.

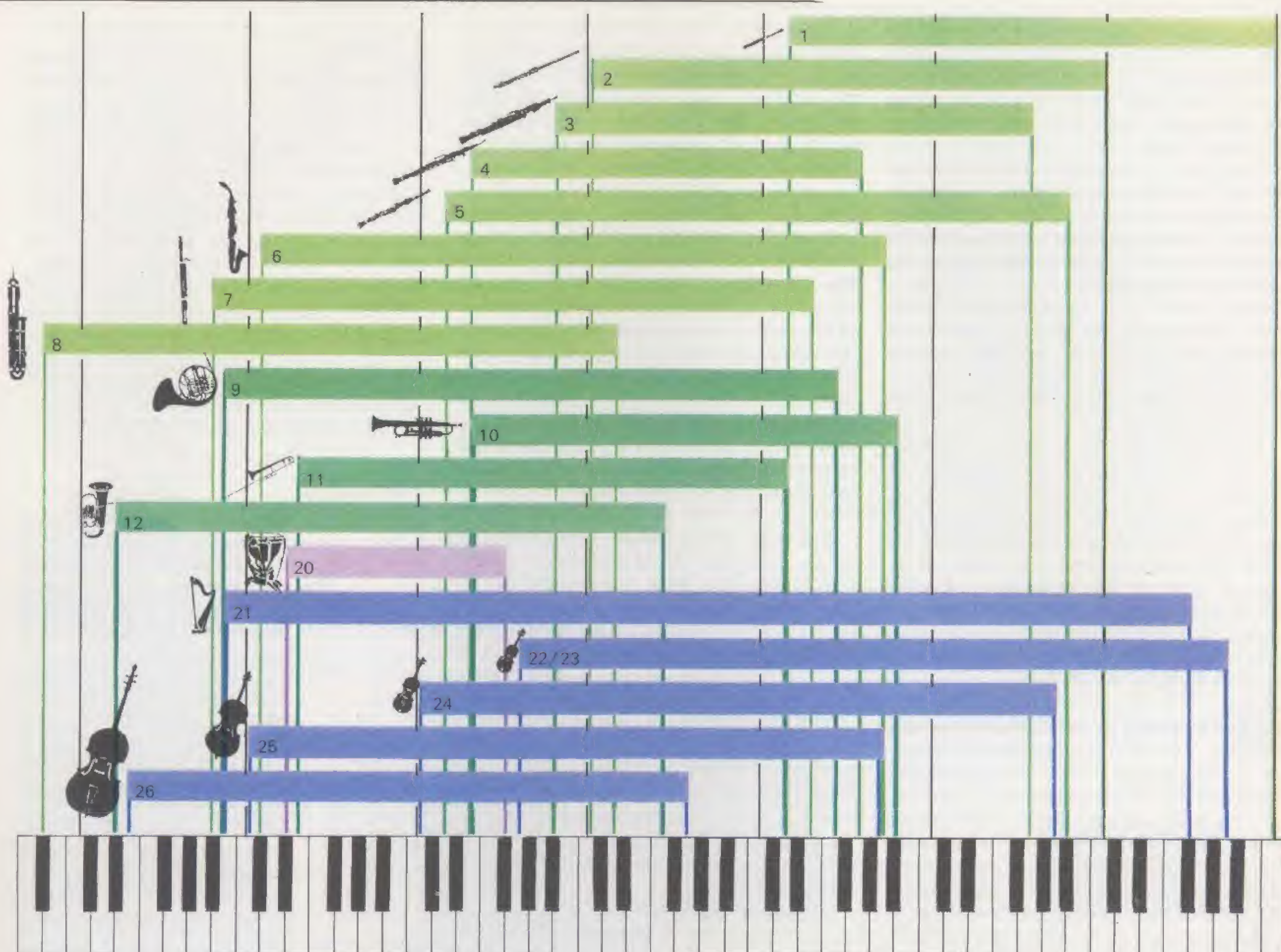
Instrumentos de viento Los instrumentos de viento —llamados así porque su sonido lo produce el aire al vibrar en el interior del instrumento, aire que introduce el músico al soplar en ellos— incluyen tanto la madera (instrumentos en forma de caña, como la *flauta*, el *clarinete* y el *oboe*) como el metal (*trompeta*, *corno inglés*, *tuba* y *trombón*).

Los primeros instrumentos de viento fueron las siringas tocadas por los pastores. Cada caña de la siringa puede producir una sola nota cuando el ejecutante sopla su *embocadura*. En los instrumentos de viento dotados de *boquilla* (o lengüeta) hay un pequeño bisel en un lado de la caña, que divide la columna de aire y la obliga a vibrar y, por tanto, a producir sonido. Al igual que un instrumento de cuerda produce un sonido más grave cuanto más largas son sus cuerdas, una caña larga produce también una nota más baja. Y lo mismo que el violinista puede modificar la longitud de una cuerda apretándola con el dedo contra el mástil, así un intérprete de pífano puede producir notas de distinta elevación actuando sobre los orificios a lo largo de toda la caña. Si toca ta-

pando todos los agujeros, con todos los dedos, el aire sale expulsado por el extremo de la caña. Separando el dedo del orificio más alto de la caña, produce un sonido más agudo. Este es el principio base de los modernos instrumentos de viento.

El sonido producido por un instrumento de viento es regulado asimismo por la apertura de la boca. La flauta (similar al flautín, de tesitura más aguda) se mantiene horizontalmente; el flautista sopla a través de la embocadura del instrumento, de igual forma a como se sopla en la boca de una botella para producir un silbido. Los instrumentos de boquilla, que producen sonidos a través de la vibración de la misma, producida por el aire que golpea sobre ella, pueden ser de boquilla simple o de boquilla doble. Al tocar un instrumento de doble boquilla, el ejecutante sopla sobre dos pedazos de caña muy delgados que vibran chocando uno contra el otro, de tal manera que producen un sonido muy nasal. El instrumento de doble boquilla más conocido es el oboe, a cuya familia pertenecen también el corno inglés, el fagot y el contrafagot.

En los instrumentos de metal, la afinación es controlada por la embocadura del instrumento, o bien por la posición de la boca y por las dimensiones y forma del tubo acústico (cónico o cilíndrico). Cuan-



do el músico hace zumbir sus labios, estos emiten el sonido vibrando el uno contra el otro. Se puede cambiar la afinación relajando los labios para obtener notas graves y tensándolos para conseguir notas agudas (como con una cuerda de violín). Para obtener una amplia gama de tonalidades, muchos instrumentos de metal se construyen actualmente con tubos enrollados, lo que permite a quienes los tocan producir notas graves sin tener que utilizar un instrumento muy aparatoso. Un buen ejemplo es la *tuba*, que con sus múltiples retorcimientos permite obtener sonidos muy graves.

Colocando una sordina o, en el caso del corno inglés, una mano en el interior de la campana del instrumento, el intérprete puede modificar el tono de brillante a pastoso.

Instrumentos de percusión El ritmo y los "efectos especiales" de un fragmento musical son suministrados en gran medida por la sección de instrumentos de percusión de la orquesta, formada no sólo por *timbales* e instrumentos que producen una nota bien definida, como la *marimba*, las *campanas*, los *glockenspiel* y los *xilófonos*, sino también por instrumentos que no dan notas afinadas, como los *gongos*, los *bombos*, los *tambores* y muchos otros

instrumentos cuyos sonidos se producen mediante el choque de un trozo de madera o metal sobre otro. El primer grupo constituye los *instrumentos de percusión afinados*, mientras que los pertenecientes al segundo reciben el nombre de *instrumentos de afinación indeterminada*.

El bombo, que es golpeado por medio de un percusor a pedal en cuyo extremo hay una bolita blanda, produce un fuerte retumbo. Los timbales pueden emitir sonidos de distinta altura según como se tense el sutil revestimiento de plástico que hay sobre la copa del tambor. El percussionista puede regular la afinación del timbal pisando los pedales correspondientes a un mecanismo que actúa sobre la circunferencia de la membrana tensada por encima del fuste.

Instrumentos de teclado Desde muchos aspectos, el *piano* y el *clavicémbalo* combinan los métodos usados en los instrumentos de percusión y en los de cuerda para producir su sonido. Cuando el pianista pulsa una tecla del piano, se pone en movimiento un perno que hace elevarse un macillo, el cual golpea con fuerza la cuerda y cae de nuevo hacia atrás, permitiendo al sonido vibrar libremente. Al mismo tiempo, un amortiguador se levanta de la cuerda para caer nuevamente sobre

ella y bloquear el sonido cuando el pianista suelta la tecla.

El pianista puede controlar la dinámica, o bien el volumen de cada nota, golpeando la tecla con fuerza o delicadamente. Esto representa un gran progreso respecto a los clavicémbalos, que, en lugar de macillos, tienen unos minúsculos *plectros* (o púas) que pellizcan las cuerdas.

Materiales La madurez de la madera usada para construir violines es muy importante para el rendimiento musical del instrumento. Contrariamente a lo que podría hacer pensar su nombre, los instrumentos llamados "de madera" no están hechos todos en esta materia; por ejemplo, el saxofón y la flauta actuales son de metal. Del mismo modo, los instrumentos denominados "de metal" están contruidos a menudo, hoy en día, en fibra de vidrio, material muy ligero y resistente. Igualmente, las membranas de los tambores, hechas en otro tiempo con piel de animal, se fabrican ya con materiales plásticos.

Véase *Acústica; Escala musical; Guitarra; Instrumentos musicales eléctricos y electrónicos; Piano; Resonancia; Sintetizador*

Instrumentos musicales eléctricos y electrónicos

El compositor francés Edgard Varèse dijo en 1916: "Rechazo someterme a sonidos que ya se han oído. Estoy buscando medios técnicos que se puedan adaptar a cualquier expresión del pensamiento y puedan seguirlo".

Aunque los instrumentos musicales con las características que pedía Varèse se han obtenido recientemente, los primeros pasos hacia esta meta se dieron antes de que el compositor pronunciase su declaración revolucionaria.

La música eléctrica y electrónica es otra consecuencia del descubrimiento de Alexander Graham Bell, en 1876, sobre la transformación del sonido en señales eléctricas y de las señales eléctricas, de nuevo, en sonido.

El primer instrumento musical eléctrico fue el *telharmonium*, una creación de Thaddeus Cahill. Aunque Cahill trabajó con su gigantesco conjunto de generadores rotatorios y receptores telefónicos durante algo más de diez años antes de sacarlo a la luz, al final cosechó un fracaso: fue considerado demasiado complejo y poco práctico. Para empezar, se oía a muy bajo nivel porque los amplificadores y altavoces todavía no se habían inventado.

Las diferencias de los instrumentos electrónicos Un instrumento musical eléctrico o electrónico utiliza la electricidad como medio fundamental en la creación de un sonido musical. Los instrumentos eléctricos se diferencian de los electrónicos en que los primeros son dispositivos electromecánicos que tienen partes móviles, mientras que los segundos están compuestos casi en su totalidad por circuitos.

Para aclarar las diferencias entre los dos tipos de instrumentos se puede pensar en el planteamiento distinto de un piano eléctrico y uno electrónico. El piano eléctrico tiene plaquitas metálicas afinadas que, al ser golpeadas, producen sonidos que se pueden transformar después en señales eléctricas para su amplificación. En cambio, el piano electrónico no tiene partes móviles, a excepción del teclado y los botones de mando. Los sonidos se obtienen aquí mediante componentes electrónicos que generan y procesan la señal, en vez de producirse con martillitos que golpean placas de metal.

Es curioso que mientras el piano eléctrico imita el funcionamiento físico del piano acústico, el piano electrónico es el que imita mejor su sonido, a pesar de no parecerse al piano acústico más que en el teclado.

Primeras realizaciones Un gran paso en el desarrollo de instrumentos eléctricos y electrónicos fue la invención del oscilador por parte de Lee De Forest. Perfeccionado en 1915, el *oscilador* es un dispositivo que genera una señal eléctrica de la frecuencia que se desee, y que después se puede transformar en sonido.

Las formas de onda que se utilizan normalmente son la sinusoidal (sonido puro), la cuadrada (que contiene los armónicos impares en el desarrollo en serie de Fourier) y la onda en diente de sierra (que tiene todos los armónicos: un sonido mucho más áspero que el de la sinusoidal y la cuadrada).

El primer instrumento en el que se usó un oscilador fue el *theremin*, inventado

El sintetizador (en la foto de abajo, un modelo reciente) es un sistema de música electrónica muy flexible, desarrollado a partir del estudio de música electrónica clásica. Cuando un sonido se transforma en señal eléctrica, se puede modificar de muchas formas. Los cambios se realizan haciendo que la señal pase a través de una unidad de proceso, que normalmente varía sólo una característica. Haciendo que actúen varias unidades, el número de posibles modificaciones aumenta y, a través del control por el teclado, las posibilidades del sistema se hacen enormes. Un sintetizador es simplemente esto: un determinado número de módulos separados que se pueden interconectar permitiendo que el operador elija la fuente de señal, los dispositivos de modificación y de control en el orden deseado. A la izquierda de estas líneas están dibujados los distintos tipos de forma de onda. Cuando se aumenta la amplitud de una forma de onda, se obtiene un aumento del volumen sonoro.



por el científico soviético Leon Theremin en 1920. El "corazón" de un theremin es un oscilador al que están conectados dos dispositivos similares a una antena, que se activan ante la cercanía de objetos conductores, incluso del cuerpo humano. Una de las antenas modifica el volumen, y la otra, la altura del sonido. Se puede "tocar" el instrumento con dos manos, acercándolas o alejándolas de las antenas. Mucha gente ha escuchado el sonido del theremin en las bandas sonoras de las antiguas películas de terror, donde se utilizaba para crear ambientes de miedo y misterio.

Otros desarrollos de la época son también las *ondas Martenot* (instrumento que construyó el francés Maurice Martenot) y el *trautonium* (creado por el alemán Frie-

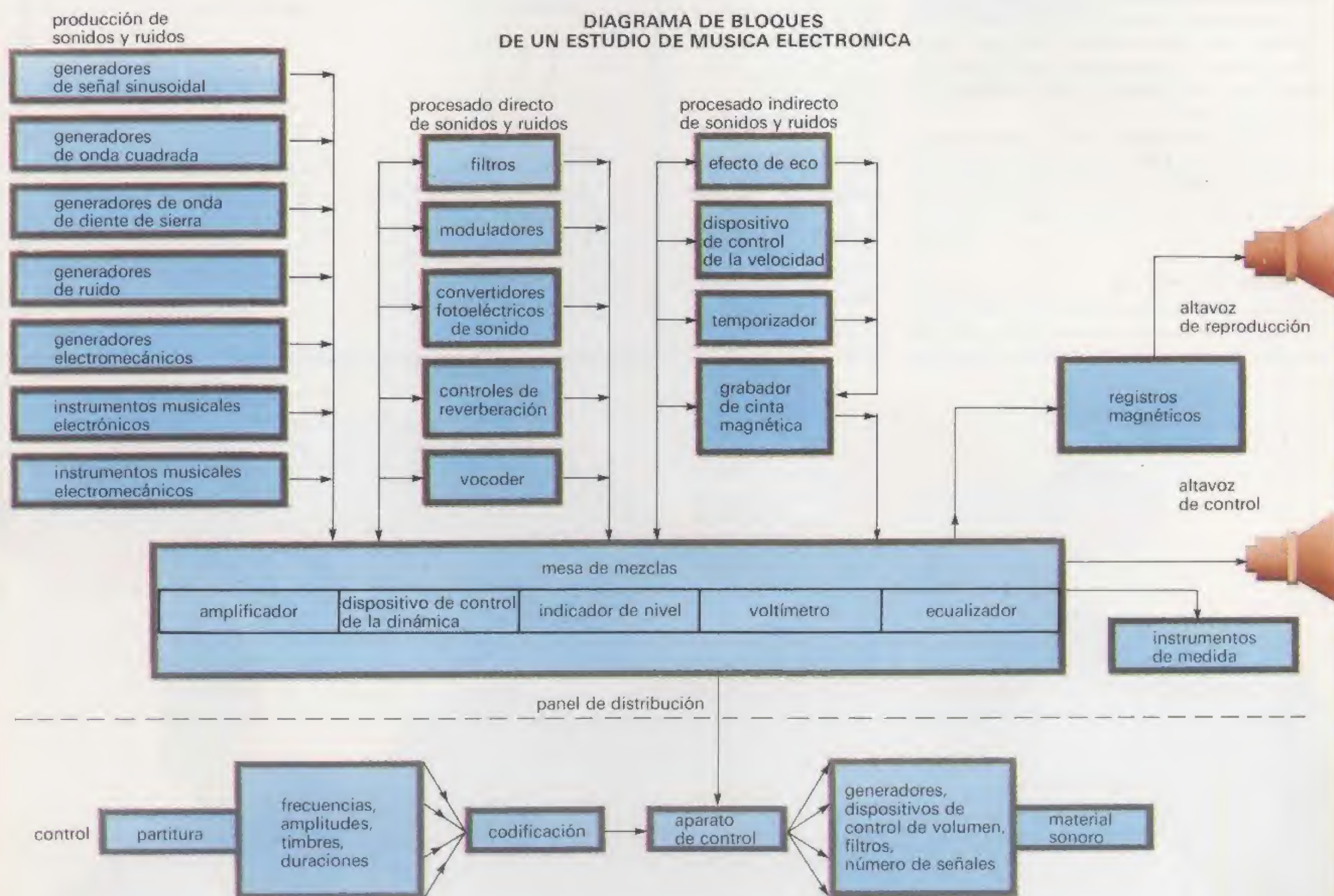
derich Trautwien en 1930). Ambos instrumentos disponían de osciladores y se manejaban a través de un teclado, aunque cada uno tenía unas características particulares. Por ejemplo, las ondas Martenot tenían una varilla metálica horizontal que al tocarla con un dedo generaba un sonido, cuya altura se podía modificar de forma continua moviendo el dedo hacia un lado u otro de la varilla.

Entre los instrumentos que se inventaron en aquella época, el de mayor éxito comercial fue el *órgano* que proyectó Laurens Hammond (patentado en 1935). A diferencia de las ondas Martenot y del trautonium, el órgano Hammond era un instrumento electromagnético, más que electrónico, y utilizaba mecanismos neumáticos.

llos de papel perforado utilizados en las pianolas. El avance que representaba este sintetizador se debía a la utilización de filtros y moduladores para modificar el sonido que generaba el oscilador. Sin embargo, este primer sintetizador tenía aplicaciones muy limitadas, era caro y voluminoso, y al estar construido con válvulas necesitaba un mantenimiento regular.

Otro progreso en los sintetizadores se consiguió con la invención del *oscilador controlado por tensión* (VCO, *Voltage Controlled Oscillator*) en los primeros años de la década de los sesenta. Como en esta época ya se utilizaban ampliamente los componentes de estado sólido (transistores) en vez de las válvulas, los VCO se hicieron populares entre los ingenieros

DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN ESTUDIO DE MUSICA ELECTRONICA



En esta página, arriba, diagrama de bloques de un estudio de música electrónica, formado por varios tipos de módulos para producción (generadores), procesado (filtros, moduladores, etc.), almacenamiento (registradores magnéticos) y reproducción (altavoces) de sonido. Los instrumentos musicales electromecánicos y electrónicos están

formados por estos módulos. Una composición de música electrónica está formada por una serie de "estratos" que se interpretan primero por separado, después se graban y finalmente se mezclan. El compositor lo controla todo directamente escuchando por los altavoces y puede intervenir inmediatamente y aportar todas las modificaciones que considere necesarias.

Los órganos Hammond actuales, reconocibles por su peculiar sonido, son muy populares en todo el mundo.

El sintetizador El gran paso hacia adelante en el desarrollo de los instrumentos musicales electrónicos se dio en 1955, cuando dos investigadores, Harry Olson y Herbert Belar, construyeron el primer sintetizador en los laboratorios de la RCA, en Princeton, New Jersey (EE UU). El *sintetizador* de Olson y Belar se caracterizaba por una cinta de papel perforada que controlaba el sistema. Esta cinta se introducía en la máquina y era similar a los ro-

que se ocupaban de la música electrónica. Robert Moog, un ingeniero estadounidense, fue el pionero en la construcción de sintetizadores utilizando VCO para el "lanzamiento" comercial, y durante mucho tiempo el nombre Moog ha sido sinónimo de sintetizador.

El primer sintetizador Moog tenía VCO, una batería formidable de amplificadores y filtros controlados por tensión, generadores de envolvente, moduladores en anillo, generadores de ruido blanco, un conjunto de mandos para regular el tiempo de ataque, y mantenimiento y caída de los sonidos. Cuando todos estos dispositivos

los utiliza un buen músico y técnico, pueden transformar el sonido que proporciona el VCO en el sonido de un violín, el estruendo de un avión, el sonido de un clavicémbalo o en cualquier otro sonido que no se haya escuchado antes.

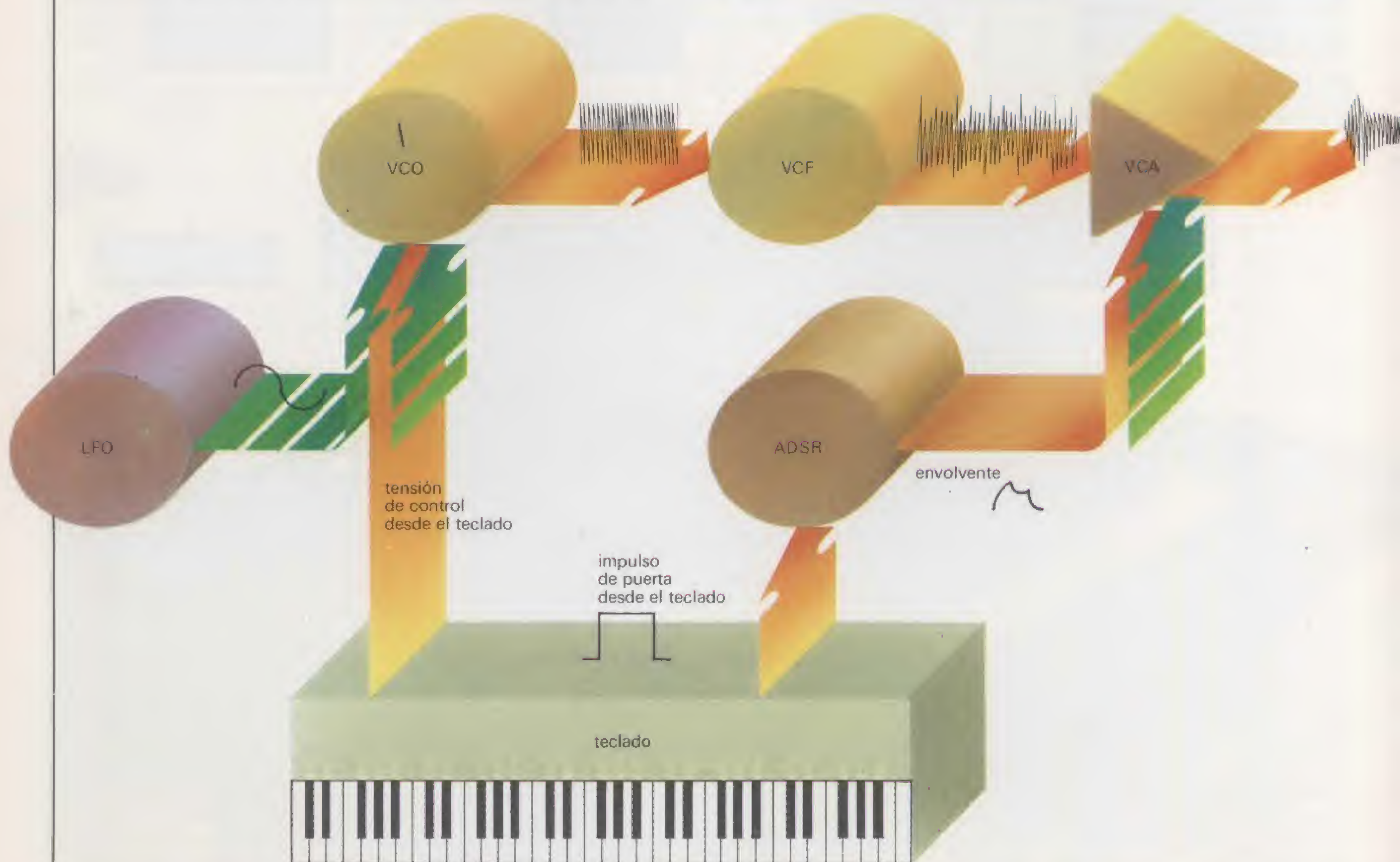
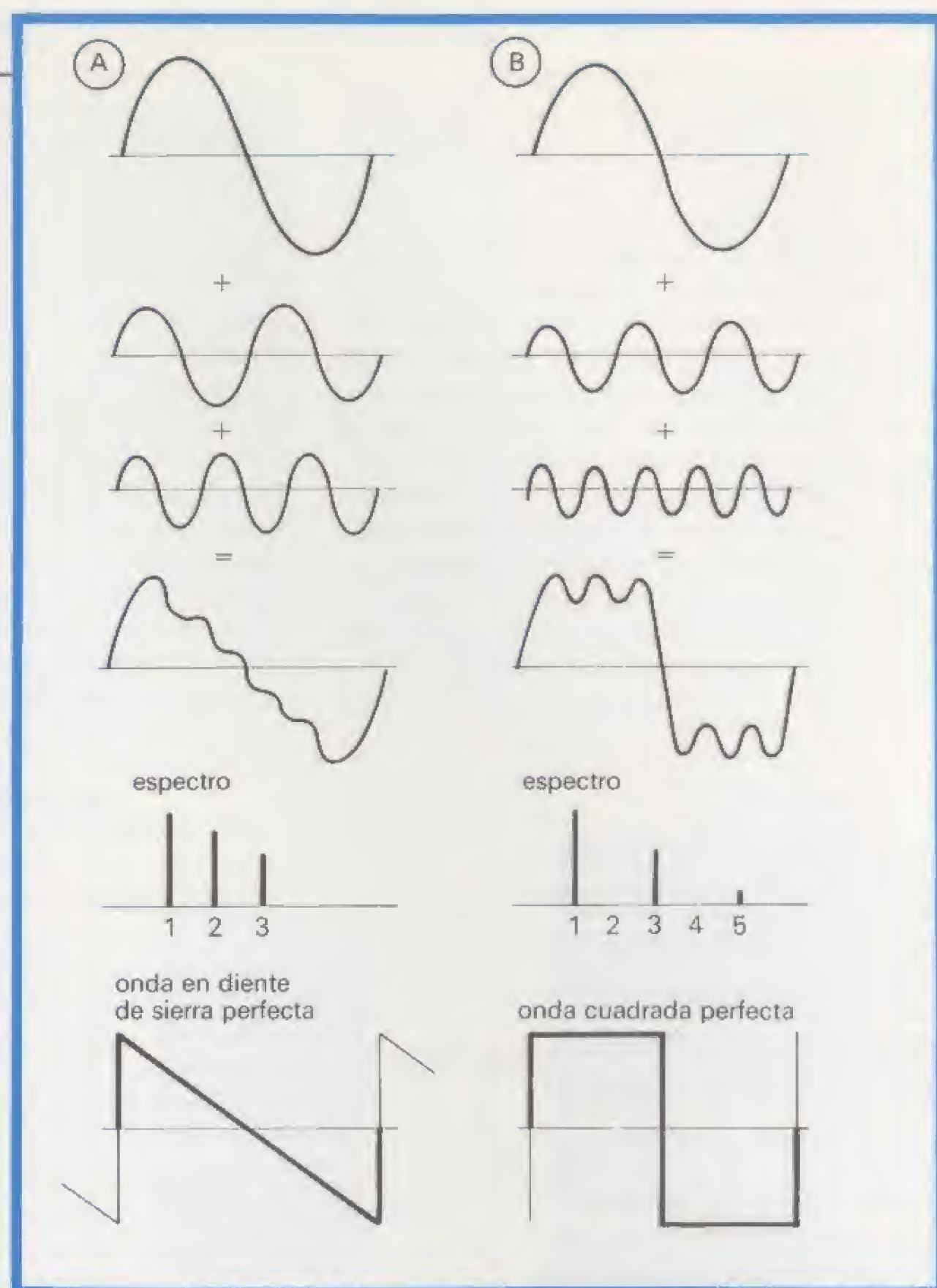
Los sintetizadores actuales no tienen necesariamente mayores prestaciones que los primeros sintetizadores Moog, pero se diferencian en algunos aspectos fundamentales. La mayor parte de los sintetizadores se construye ahora con tecnología digital (cada sonido tiene un código binario), mientras que los instrumentos de finales de los años sesenta y principios de los años setenta se construían con tecnología analógica (cada sonido tiene su señal eléctrica análoga).

Otra diferencia importante está en que ahora se consiguen fácilmente sintetizadores polifónicos (con ellos se puede tocar más de una nota al mismo tiempo), mientras que los sintetizadores de hace diez años eran monofónicos (sólo sonaba una nota cada vez).

Las señales eléctricas son generadas a través del teclado y mediante el uso de un *secuenciador*, aparato que puede memorizar varias de estas señales y mandarlas a las unidades controladas por tensión.

Guitarras eléctricas Originalmente, la guitarra eléctrica era igual que una guitarra acústica, hueca en su interior, con un micrófono para que se pudiera amplificar

El avance más significativo en el desarrollo de los instrumentos eléctricos y electrónicos es seguramente el invento del oscilador por parte de Lee de Forest. El oscilador es un osciloscopio de funcionamiento eléctrico que puede producir formas de onda de distintas frecuencias, que se pueden transformar después en señales acústicas. Las formas de onda generadas normalmente son: la sinusoidal (un sonido puro), la cuadrada (que contiene los armónicos impares del desarrollo en serie) y la onda en diente de sierra (que contiene el fundamental y todos los armónicos). En el recuadro que está a la derecha se han dibujado, por un lado, tres señales sinusoidales, que representan el fundamental, segundo y tercer armónico, y se suman para obtener una onda en diente de sierra (A); tres ondas de distinta frecuencia (armónicos impares) se suman para obtener una onda similar a la onda cuadrada (B).



su sonido y no la taparan otros instrumentos con sonido más fuerte.

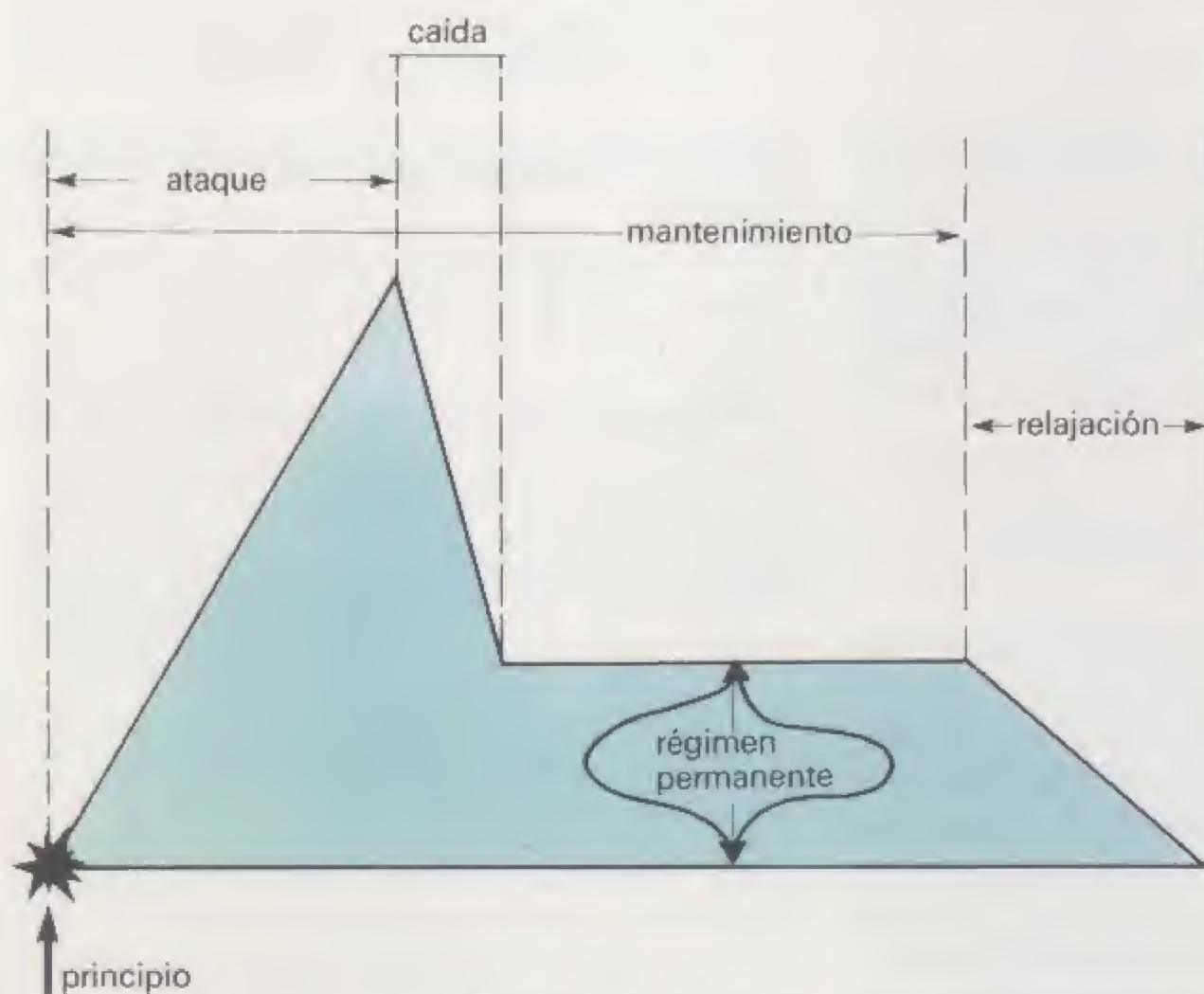
A finales de los años cuarenta se construyó la primera guitarra eléctrica de caja maciza (*solid body*), que se asocia normalmente al guitarrista norteamericano Les Paul, un virtuoso de este instrumento. La guitarra de cuerpo macizo no tiene caja de resonancia y recoge el sonido con una o varias *pastillas*, o *pick up* (micrófono magnético), situadas debajo de las cuerdas, que transforman sus vibraciones en señales eléctricas. El tipo más moderno de guitarra es la guitarra-sintetizador, que se diferencia del sintetizador en que lo que se maneja para producir el sonido es precisamente una guitarra, en vez de un teclado. Toda la parte electrónica de esta guitarra está pensada para controlar los módulos del sintetizador.

Las flautas, saxofones y otros instrumentos son normalmente acústicos, aunque han sido modificados para adaptarles un pequeño micrófono. Se han construido también algunos violines de cuerpo macizo, proyectados de la misma forma que las guitarras eléctricas.

Fronteras musicales Imaginemos una máquina que pueda leer la música de una página e interpretarla, o bien una que tenga un terminal de vídeo de ordenador que represente los datos en forma de notación musical y donde se pueda escribir interactivamente, apretar después un botón y escuchar la música recién escrita. El *Fairlight CMI* y el *Synclavier* son instrumentos concebidos de esta forma y están actualmente en el mercado (aunque, de momento, a un precio muy elevado).

En el otro extremo de la gama de precios y del grado de sofisticación, existen órganos electrónicos del tamaño de un estuche de lápices que pueden realizar algunas de las funciones de un sintetizador Moog de hace 15 años. Aunque los sintetizadores pueden imitar a otros instrumentos (los instrumentos que escuchamos muchas veces son sintetizados), parece ser que el fin para el que son más adecuados es cumplir el antiguo sueño de Edgard Varèse: la creación de sonidos no escuchados nunca antes.

Véase **Escala musical; Guitarra; Instrumentos musicales; Sintetizador**



Los sonidos que se producen nunca son iguales. Existe un tiempo de subida (durante el cual el sonido aumenta de volumen) y un tiempo de caída (durante el cual decrece). Entre ambos existe una fase llamada *régimen permanente*. Un generador de envolvente ADSR (ataque, caída, mantenimiento y relajación) modula la señal de la forma representada a la izquierda. En la foto bajo estas líneas, una guitarra-sintetizador, instrumento donde la parte que se toca es una guitarra eléctrica.



Integrales

El concepto de *integral* es tan simple (o ¡tan complejo!) como el de área. Si se tiene una función del intervalo $[a, b]$ en \mathbb{R} que, para simplificar, puede suponerse continua y tomando sólo valores positivos, la *integral* de $f(x)$ entre a y b no es sino el valor del área encerrada por el eje de abscisas, la propia curva y las dos rectas, paralelas al eje de ordenadas, $x=a$ y $x=b$. Por otra parte, la notación que se usa para ella es

$$\int_a^b f(x) dx$$

que se lee "*integral definida*, entre a y b , de $f(x)$ diferencial de x ". A los puntos a y b se les llama *extremos*, *inferior* y *superior* respectivamente, de la integral, a f función *integrando* (o *subintegral*) y $dx = \Delta x$ es la diferencial o incremento de x . El correspondiente proceso de cálculo puede, elemental e informalmente, resumirse en los siguientes pasos:

1º) Se divide el intervalo $[a, b]$ en n subintervalos de extremos:

$$a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b.$$

2º) Se hallan las áreas de los rectángulos de bases los incrementos $\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$ y alturas $f(x_i)$.

3º) Se calcula $\sum f(x_i) \Delta x_i$, que será un valor aproximado del área definida por la curva.

4º) Se obtiene el límite de dicha suma cuando el mayor de los Δx_i tiende a cero.

Precisamente la notación usada quiere simbolizar dicho proceso: el signo \int , introducido por Leibniz, es el resultado de estilizar la "S", inicial de la palabra "suma", y $f(x) dx$ pretende representar el área elemental del rectángulo de altura $f(x)$ y ancho $dx = \Delta x$.

Los creadores del Cálculo, Newton y Leibniz, y sus continuadores —los Bernoulli, Euler, etc.— adoptaron la postura ingenua de pensar que dicho límite siempre existía para el tipo de funciones sencillas que ellos usaban; ello condujo a ciertos excesos y paradojas y, sobre todo, faltas de rigor y precisión. Cauchy iniciaría su proceso de formalización y rigor, con su concepto de integral, que en principio era apropiado para funciones continuas (o con un número finito de discontinuidades); más tarde Riemann adelantaría una definición de integral para funciones más generales.

En lo que sigue se supondrá, salvo precisión en contrario, que las funciones de $[a, b]$ en \mathbb{R} de las que se trate, tienen integral y las llamaremos *integrables* (sin plantearnos qué condiciones deben cumplir para serlo). Por otra parte haremos dos precisiones. La primera es que si f es positiva y $b > a$ entonces los valores de $\sum f(x_i) \Delta x_i$ y de su límite, la integral, son positivos; por el contrario, si f fuera negativa, con $b > a$, serían negativos, lo que también sucedería si, siendo f positiva, se recorriese el eje x en sentido negativo (es decir si $b < a$). Por supuesto que si $f(x)$ cambia de signo a lo largo del intervalo se producirían contribuciones positivas y negativas a su integral, pudiendo ser ésta

nula sin serlo $f(x)$ idénticamente. La segunda precisión es que la integral de f en $[a, b]$ es un número que puede verse como el valor que la operación de integral atribuye a f (o, en lenguaje más moderno, como el valor que la *aplicación integral* atribuye a la función f); depende, pues, sólo de la función y no del nombre o letra con que se designe a la variable de integración x (que, por eso, se llama *muda* y puede sustituirse por cualquier otra), es decir:

$$\int_a^b f(x) dx = \int_a^b f(t) dt$$

Ejemplos y extensiones Resulta muy fácil calcular integrales en algunos casos simples. Por ejemplo si se trata de la función $f(x) = k$ (k número constante) es evidente que su integral en $[a, b]$ será el área del rectángulo de base $[a, b]$ y altura k y por tanto

$$\int_a^b k dx = k(b-a)$$

En particular si $k = 1$ resulta que

$$\int_a^b dx = b-a$$

Análogamente si $f(x)$ es de la forma $f(x) = kx$ se tiene que forma un trapecio tumbado de altura $b-a$ y bases ak y bk y, por tanto,

$$\int_a^b kx = (b-a) \frac{bk+ak}{2} = k \frac{b^2-a^2}{2}$$

Naturalmente, para ambos casos, en vez de dar los resultados apoyándose en propiedades geométricas, podrían haberse dado los pasos de dividir en intervalos, sumar y pasar al límite; como se hace para el siguiente (que no se presta a cálculo inmediato). Sea $f(x) = x^2$ y sea $[a, b] = [0, 1]$; entonces, haciendo la división del intervalo en n subintervalos de ancho $1/n$, se tiene que

$$\sum f(x_i) \Delta x_i = \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{i}{n} \right)^2 \frac{1}{n}$$

Dicha suma vale (ver voz Análisis Matemático)

$$\sum f(x_i) \Delta x_i = \frac{1}{3} - \frac{1}{2n} + \frac{1}{6n^2}$$

Por tanto su límite será

$$\int_0^1 x^2 dx = \frac{1}{3}$$

(resultado ya conocido por Arquímedes que, en su época, calculó el área del segmento de parábola).

Se ha admitido en lo anterior que $[a, b]$ y f son finitos. Cuando alguna de estas hipótesis falla la definición elemental no tiene sentido y es necesario ampliarla para incluir a las llamadas *integrales impropias*, que no son sino el resultado de combinar el paso al límite con la integración ordinaria (que lleva incluido otro paso al límite). Por ejemplo, se define, para intervalo infinito:

$$\int_a^\infty f(x) dx = \lim_{A \rightarrow \infty} \int_a^A f(x) dx$$

y para integrando, $f(x)$, tendiendo a infinito en b :

$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \int_a^{b-\epsilon} f(x) dx$$

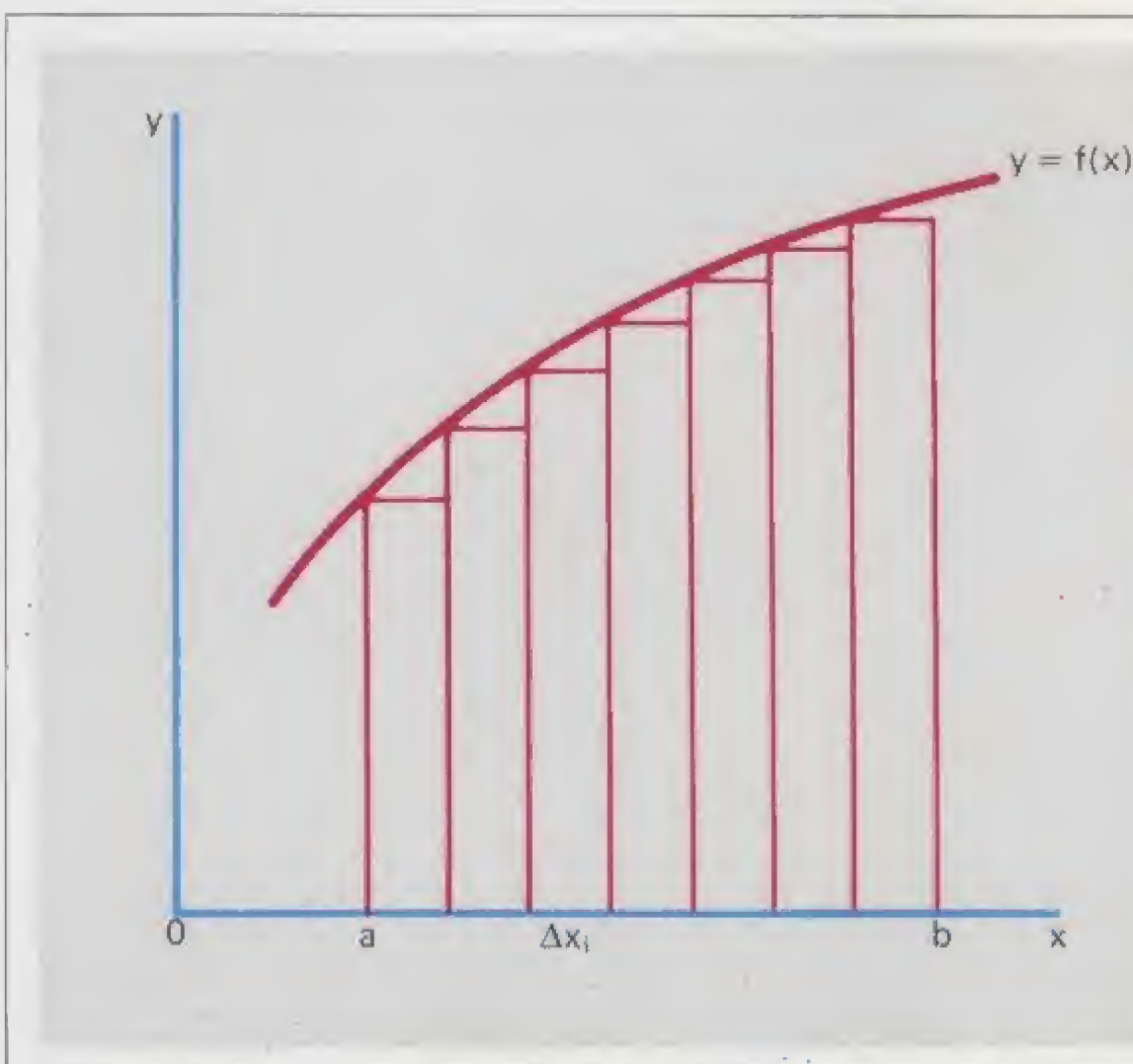
Algunas propiedades básicas Dando por buena la idea intuitiva de integral antes descrita y trabajando con funciones reales integrables en el intervalo $[a, b]$ pueden, de modo fácil e inmediato, obtenerse algunas propiedades importantes.

En primer lugar se tiene que

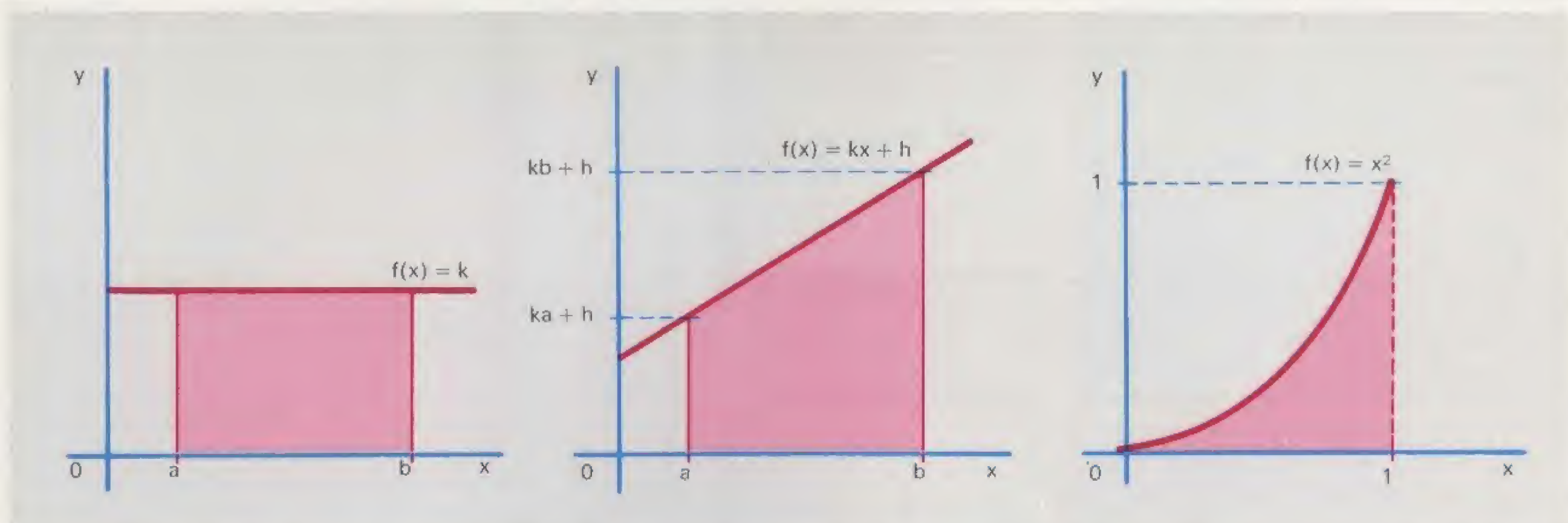
$$\int_a^b f(x) dx = - \int_b^a f(x) dx$$

como se demuestra al ver que cada Δx_i , al realizar el proceso de cálculo, en la segunda integral es igual y contrario que el correspondiente en la primera.

En segundo lugar, es inmediato comprobar que si f y g son funciones integrables y α y β números reales se cumple que la combinación $\alpha f + \beta g$ también lo es y su



La figura muestra gráficamente la coincidencia de los conceptos de área e integral y muestra cómo se define ésta. Se aproxima el área definida por la gráfica de una función, el eje de abscisas y las rectas $x=a$, $x=b$ por una suma de rectángulos de bases Δx_i y alturas $f(x_i)$; si la función cumple ciertas condiciones —en el caso más simple: ser continua en $[a, b]$ — la suma tiende a la integral (o, si se quiere, el área).



Tres casos sencillos de cálculo de integrales son los ilustrados en la figura. En el primero se trata de la de una función

constante. Obviamente ésta se reduce a calcular el área de un rectángulo. En el segundo caso se trata de integrar

la función $f(x) = kx + h$ entre a y b , lo que se reduce a determinar el área de un trapecio;

es decir,

$$(b-a) \left[\frac{ka + kb}{2} + h \right] = k \frac{b^2 - a^2}{2} + h(b-a)$$

si $h = 0$ la recta pasa por el origen y el término $h(b-a)$ se anula. Para el cálculo del área determinada por la parábola $y = x^2$ entre

$x = 0$ y $x = 1$ ya hay que recurrir a métodos analíticos (que dan el valor $1/3$).

integral obedece a la misma combinación. Ello puede resumirse diciendo que la integral es una operación lineal o que respeta la estructura de espacio vectorial.

En tercer lugar, puede verse fácilmente que si f es integrable en $[a, b]$ y en $[b, c]$, lo es también en $[a, c]$ y que se cumple

$$\int_a^b f(x) dx + \int_b^c f(x) dx = \int_a^c f(x) dx$$

(propiedad que suele llamarse de "aditividad del intervalo")

Un tercer tipo de propiedades son las de acotación. Se trata de lo siguiente: si φ_1 , f y φ_2 son tres funciones integrables en $[a, b]$, con $a < b$, y se cumple que $\varphi_1(x) \leq f(x) \leq \varphi_2(x)$, para todo x en $[a, b]$, entonces:

$$\int_a^b \varphi_1(x) dx \leq \int_a^b f(x) dx \leq \int_a^b \varphi_2(x) dx$$

En particular, φ_1 y φ_2 pueden sustituirse por una cota inferior y otra superior cualesquiera de f . De ello se deduce que, siendo m y M el máximo y el mínimo de f , se tendrá $m \leq f(x) \leq M$ y por tanto:

$$m(b-a) \leq \int_a^b f(x) dx \leq M(b-a)$$

Por otra parte, a partir de la propiedad del valor absoluto de la suma, resulta (con $b < a$) que:

$$\left| \int_a^b f(x) dx \right| \leq \int_a^b |f(x)| dx$$

Que, combinada con las anteriores, si es $|f(x)| \leq M$, y a y b de cualquier forma, da el resultado:

$$\left| \int_a^b f(x) dx \right| \leq M|b-a|$$

Por último merece la pena reseñar el llamado "teorema del valor medio". Se obtiene observando que de la propiedad de acotación de la integral entre $m(b-a)$ y $M(b-a)$ se deduce que:

$$\int_a^b f(x) dx = \mu(b-a)$$

siendo μ un valor intermedio entre m y M . Si la función es continua resultará que este valor μ corresponde al que toma f en algún punto del intervalo, es decir $\mu = f(\xi)$, con $a \leq \xi \leq b$. Y puede ponerse

$$\int_a^b f(x) dx = f(\xi)(b-a)$$

o, también,

$$f(\xi) = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx$$

A $f(\xi)$ se le suele llamar *valor medio* de f en $[a, b]$, por ser el límite de las medias $(1/n) \sum f(x_i)$. Gráficamente correspondería a la altura de un rectángulo de base $[a, b]$ y área igual a la que determina la curva $f(x)$.

Integrales definidas e indefinidas A partir del concepto de *integral definida*, entre a y b , de $f(x)$ puede establecerse un nuevo concepto: el de *función integral*. Para ello basta sustituir el extremo superior b de integración por un punto variable x ; entonces, a cada valor de éste le corresponderá uno de la integral. Puede, entonces, decirse que se ha definido una función, F , de $[a, b]$ en \mathbb{R} , tal que

$$F(x) = \int_a^x f(t) dt$$

y que se denomina *función integral* de f . Pueden investigarse inmediatamente las propiedades de F , por ejemplo su continuidad y derivabilidad; para ello basta estudiar el incremento ΔF cuando x varía en Δx . Se tiene que

$$\Delta F = \int_a^{x+\Delta x} f(t) dt - \int_a^x f(t) dt = \int_x^{x+\Delta x} f(t) dt$$

que, usando el teorema del valor medio conduce a que:

$$\Delta F(x) = f(\xi) \Delta x \quad x \leq \xi \leq x + \Delta x$$

Se obtienen, seguidamente, dos interesantes resultados. El primero es que ΔF puede hacerse tan pequeño como se quiera, sin más que elegir apropiadamen-

te Δx , lo que quiere decir que F es continua. El segundo es sorprendentemente útil e interesante y, por ello, llamado "teorema fundamental de Cálculo". Se expresa del siguiente modo:

$$F'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta F(x)}{\Delta x} = f(x)$$

En otros términos: "la derivada de la función integral de $f(x)$ es, precisamente, $f(x)$ ". Si, como venimos suponiendo, ésta es continua aquella es derivable con derivada continua.

Por otra parte se acostumbra a decir que una función derivable ϕ es la *primitiva* (*integral indefinida* o, a veces, *antiderivada*) de ϕ si se cumple que $\phi' = \phi$. Si ϕ es *primitiva* de ϕ también lo es cualquier función que sólo se diferencie de ella en una constante arbitraria, es decir $\phi + C$. Si, recíprocamente, ϕ y ψ son primitivas de ϕ forzosamente deben diferir en una constante, ya que su diferencia tiene derivada nula

$$(\phi - \psi)' = \phi' - \psi' = \phi - \phi = 0$$

Para la integral indefinida de ϕ suele utilizarse la notación $\int \phi(x) dx$. ¿Cuál es la relación entre la integral *indefinida* y la *definida*? El *teorema fundamental* nos la da. En efecto, de él resulta que la función integral de $f(x)$ es una de sus primitivas; entonces se tiene que si $F(x)$ es una primitiva cualquiera de f (obtenida por ejemplo observando que su derivada es, precisamente, f) se tendrá que:

$$\int_a^x f(x) dx = F(x) + C$$

para un determinado valor de C . Haciendo $x = a$ y $x = b$ se tiene:

$$F(a) + C = 0$$

$$F(b) + C = \int_a^b f(x) dx$$

luego:

$$\int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a)$$

que es la llamada *regla de Barrow*.

El teorema fundamental del Cálculo (y su consecuencia, la *regla de Barrow*) proporcionan dos ideas muy importantes. La primera es que los problemas del área y la tangente son uno inverso del otro, uno corresponde a integrar, el otro a derivar o, lo que es lo mismo: Si $F(x)$ representa el área que determina la curva $y=f(x)$, ésta va dando los valores de la pendiente de la tangente a la curva de ecuación $y=F(x)$. La segunda es que el cálculo de integrales definidas de una función f puede reducirse a la obtención de *primitivas*, es decir de funciones que sean *antiderivadas* de f .

TABLA DE INTEGRALES INMEDIATAS

1. $\int u' u^n dx = \frac{u^{n+1}}{n+1} + C \quad n \neq -1$
2. $\int \frac{u'}{u} dx = \log |u| + C$
3. $\int u' \log |u| dx = u (\log |u| - 1) + C$
4. $\int u' a^u dx = \frac{a^u}{\log a} + C \quad a > 0$
5. $\int u' \sin u dx = -\cos u + C$
6. $\int u' \cos u dx = \sin u + C$
7. $\int \frac{u'}{\cos^2 u} dx = \operatorname{tg} u + C$
8. $\int \frac{u'}{\sqrt{1-u^2}} dx = \operatorname{arc} \operatorname{sen} u + A = -\operatorname{arc} \operatorname{cos} u + B$
9. $\int \frac{u'}{1+u^2} dx = \operatorname{arctg} u + C$

NOTAS.—En todas las fórmulas u es una función derivable de x . (En particular en las fórmulas [2] y [3] $u(x) \neq 0$, en la [7] $\cos u(x) \neq 0$ y en la [8] $u^2(x) < 1$). u' designa a la derivada de u , a un real positivo, n un real cualquiera distinto de -1 . A , B y C constantes arbitrarias.

Cuando $u(x) = x$ y $u'(x) = 1$ se obtienen casos más simples.

Métodos de integración Para calcular derivadas existe un método automático, así como numerosas reglas y resultados; se trata de un problema directo y como tal de solución fácil. El inverso, por el contrario, no tiene una técnica general de solución, sino que es necesario recurrir a una pluralidad de métodos y artificios. En la tabla adjunta se da una lista de las llamadas *integrales inmediatas*; se trata de aquellos casos en los que se ve (o se sabe) que una función es la derivada de otra. Por ejemplo la función $\log f(x)$, con f derivable, es $f'(x)/f(x)$, luego la primitiva de ésta es aquélla. (Naturalmente el calificativo de *inmediata* es relativo.)

El paso siguiente es utilizar los métodos llamados *elementales*. Los más sencillos son los llamados de *sustitución*, de *descomposición* y *por partes*. A veces, también, puede utilizarse una combinación de ellos. El de *sustitución* ha sido ya de hecho ilustrado en el ejemplo anterior

y consiste en que si se tiene la integral

$$\int f(x) dx = F(x) + C$$

y $x=\varphi(t)$ representa una función derivable, resulta fácil ver que:

$$\int f(\varphi(t))\varphi'(t) dt = F(\varphi(t)) + C$$

Por ejemplo, sabiendo que

$$\int e^x dx = e^x + C$$

puede obtenerse que

$$\int e^{\operatorname{sent} t} \cos t dt = e^{\operatorname{sent} t} + C$$

El de *descomposición* se refiere a la aplicación de la propiedad de linealidad es decir:

$$\int [\alpha f(x) + \beta g(x)] dx = \alpha F(x) + \beta G(x)$$

si F y G son las primitivas de f y g . Un ejemplo inmediato se tiene en la integración término a término de un polinomio.

El método de integración *por partes* se deduce de la propiedad de la derivación siguiente: si u y v son funciones derivables, se tiene que:

$$(u \cdot v)' = u'v + uv'$$

que tomando primitivas, conduce a:

$$uv = \int u'v dx + \int uv' dx$$

que, a su vez, permite escribir:

$$\int u(x)v'(x) dx = u(x)v(x) - \int u'(x)v(x) dx$$

Por ejemplo

$$\int x e^x dx = x e^x - \int e^x dx = e^x(x-1) + C$$

(habiendo hecho $u(x)=x$, $v(x)=e^x$).

Aparte de los métodos *elementales*, de tipo general, existen numerosos métodos especiales para obtener primitivas para tipos de funciones determinadas (racionales, exponenciales, trigonométricas, etc.).

Por último, hay que señalar que el fracaso en encontrar una primitiva para una función elemental en forma de combinación de funciones elementales puede no deberse a impericia o mala suerte sino a un hecho más profundo: no existir. Expliquémoslo; hay funciones muy sencillas (expresables elementalmente, derivables, etc.) que, sin embargo, no tienen una primitiva que sea expresable como función elemental. Por ejemplo la función $f(x) = e^{x^2}$ que aparece en numerosos problemas (transmisión de calor y difusión, probabilidad, etc.) es tal que no hay ninguna función elemental —es decir combinación de algebraicas, exponenciales, etc.— que al derivarla la dé como resultado. Ello no quiere decir que no exista tal primitiva, sino que es una función trascendente que se define, salvo una constante, precisamente, por $\int_0^x \exp(t^2) dt$. Ello no tiene nin-

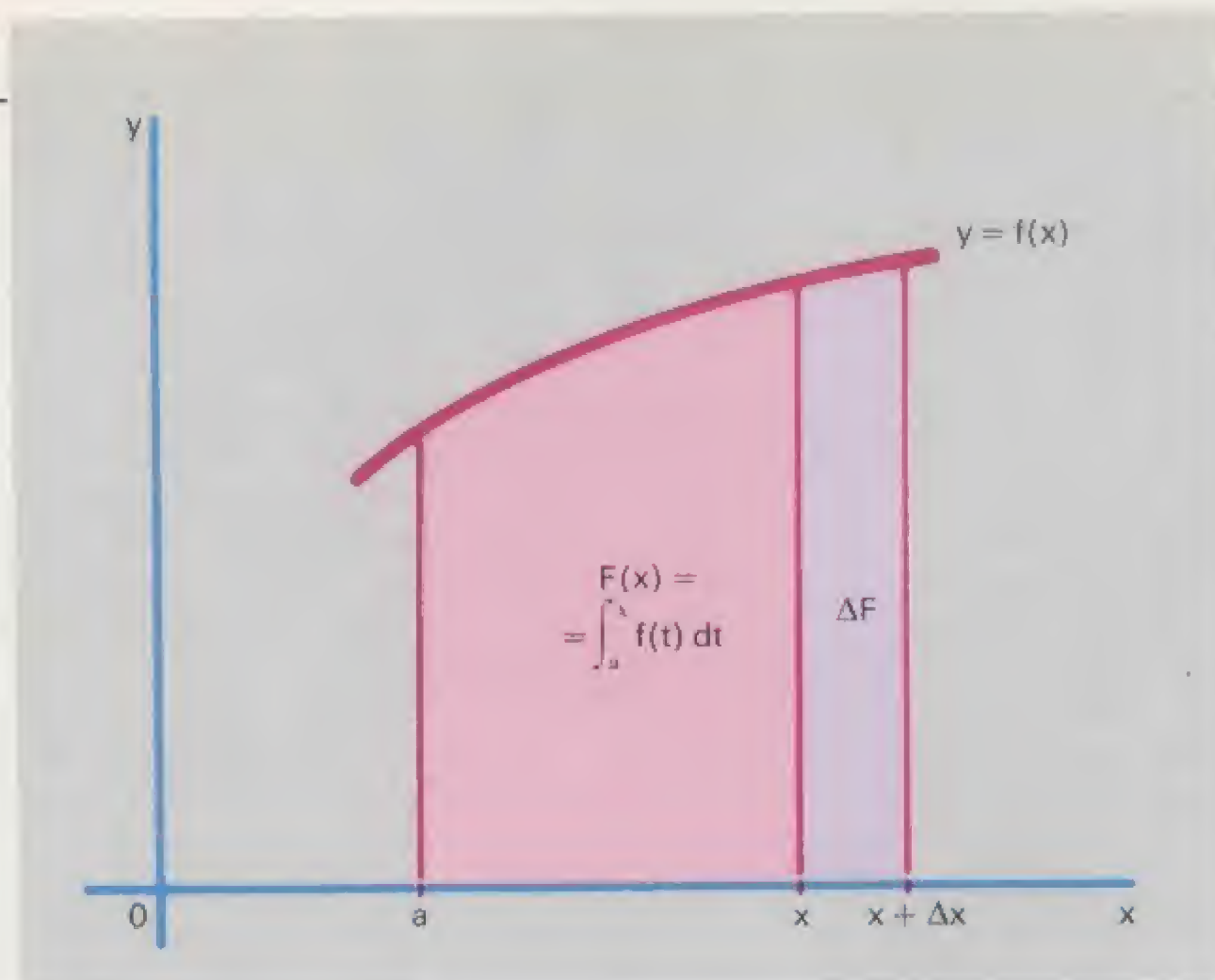
gún inconveniente sino todo lo contrario; el Cálculo Integral proporciona infinidad de casos análogos, nuevas trascendentes que sirven para representar fenómenos que las funciones elementales son incapaces de hacer. Esta situación se repite con más intensidad al tratar con ecuaciones diferenciales; las soluciones de éstas, incluso en casos muy simples, pueden ser funciones que no se reduzcan a funciones elementales, ni siquiera a integrales de funciones elementales.

La evolución del concepto de integral

La teoría de la medida de conjuntos se inicia, en cierto modo, en Grecia con el método de *exhaución*, de Eudoxo y Arquímedes, para calcular áreas y volúmenes. Se generaliza en tiempos modernos con Riemann y Jordan y adquiere el aspecto actual gracias a Borel, Lebesgue y Carathéodory. Por su parte la integración de funciones es iniciada por los fundadores del Cálculo y sus inmediatos seguidores, Newton, Leibniz, Euler, etc., y dada rigor y precisión, sucesivamente, por Cauchy y Riemann. Actualmente ambas teorías, por obra de matemáticos de nuestro siglo, se hallan unificadas en la que se denomina Teoría de la Medida y la Integral.

Después de los primeros siglos de tratamiento intuitivo de las integrales y tras las dificultades suscitadas por diferentes problemas (ecuaciones de la cuerda vibrante, desarrollos de Fourier, etc.) se hizo preciso darle rigor. Cauchy, en el proceso de aritmetización del Análisis, dio un concepto riguroso de integral válido para funciones continuas. Para ello estableció formalmente la integral como límite de la suma $\sum f(x_i)\Delta x_i$, del modo apuntado al principio de esta exposición, y estableció la existencia de dicho límite cuando f era continua en $[a, b]$, lo que en realidad supone que la continuidad es uniforme. La aditividad respecto al intervalo permite extender el resultado para el caso de que f tenga un número finito de discontinuidades en él.

Más tarde, Riemann amplió el concepto de integral para funciones con infinitas discontinuidades (siempre que éstas, como hoy se dice, formaran un conjunto de *medida nula*). Con su concepto sería integrable la llamada función de Riemann (la, definida en $[0, 1]$, que vale *uno* en los irracionales y $1/q$ en los racionales $x = p/q$, fracción irreducible) porque sus discontinuidades se dan en un conjunto de puntos numerable y por tanto contenido en un conjunto de medida nula, mientras que no lo sería la función de Dirichlet (cero en los irracionales, *uno* en los racionales) porque es discontinua en todos los puntos. Para ampliar el concepto a casos como el citado y resolver ciertas dificultades teóricas se han inventado otros conceptos de integral, por ejemplo el de Lebesgue, que consiste en sustituir la suma $\sum f(x_i)\Delta x_i$ formada por las áreas de los rectángulos de base Δx_i y altura $f(x_i)$ por la suma $\sum m_i y_i$, donde m_i es la *medida* (en términos intuitivos la *longitud*) del conjun-



La derivada de la función $F(x)$, integral de $f(x)$, entre a y x , es el límite del cociente $\Delta F/\Delta x$, donde ΔF es el área que se muestra en la figura, que puede intuitivamente aproximarse por $f(\xi)\Delta x$, siendo $f(\xi)$ la ordenada en algún punto del intervalo $[x, x+\Delta x]$ (resultado exacto según el "teorema del valor medio"). Si f es continua, cuando Δx tiende a cero, $\Delta F/\Delta x$ tiende a $f(x)$.

to de puntos del eje de abscisas correspondientes a un valor de la función y_i , siendo éste uno de los puntos de la división en subintervalos que se ha hecho en el rango de variación de f . El límite, si existe, de dicha suma cuando los $\Delta y_i = y_i - y_{i-1}$ tienden a cero es la integral de Lebesgue. Con él resulta, por ejemplo, integrable la función de Dirichlet, ya que la suma $\sum y_i m_i$ se reduce al valor $y=0$ por la medida del intervalo $[0,1]$, que es la unidad y , lógicamente, su integral es nula.

En cuanto al concepto de medida es una extensión de los de longitud, área y volumen elementales. Si E es un conjunto se tiene una función medida, m , sobre él, si a cada subconjunto de A se le puede atribuir un número real no negativo, $m(A)$, y tal que, si A y B son disjuntos, $m(A \cup B) = m(A) + m(B)$. La medida anterior puede generalizarse, con una propiedad llamada *sigma-aditividad*, que supone que la aditividad se sigue cumpliendo cuando A y B se sustituyen por una infinidad de conjuntos, disjuntos dos a dos. Si, de tal forma, se tiene un espacio dotado de una medida (por ejemplo un intervalo de la recta real con la longitud habitual) y, sobre él, definidas funciones en un espacio de Banach —espacio vectorial abstracto dotado de una norma y completo respecto a la convergencia en la misma— como es el

caso del propio \mathbb{R} , puede extenderse en él la teoría de la integración.

Integrales en varias dimensiones Hasta ahora se ha hablado exclusivamente de funciones de una variable real para las que su integral tenía la significación geométrica de un área (caso de que la misma tuviera sentido). ¿Pueden definirse integrales para funciones de varias variables? La respuesta es afirmativa. De un modo telegráfico bosquejaremos el método:

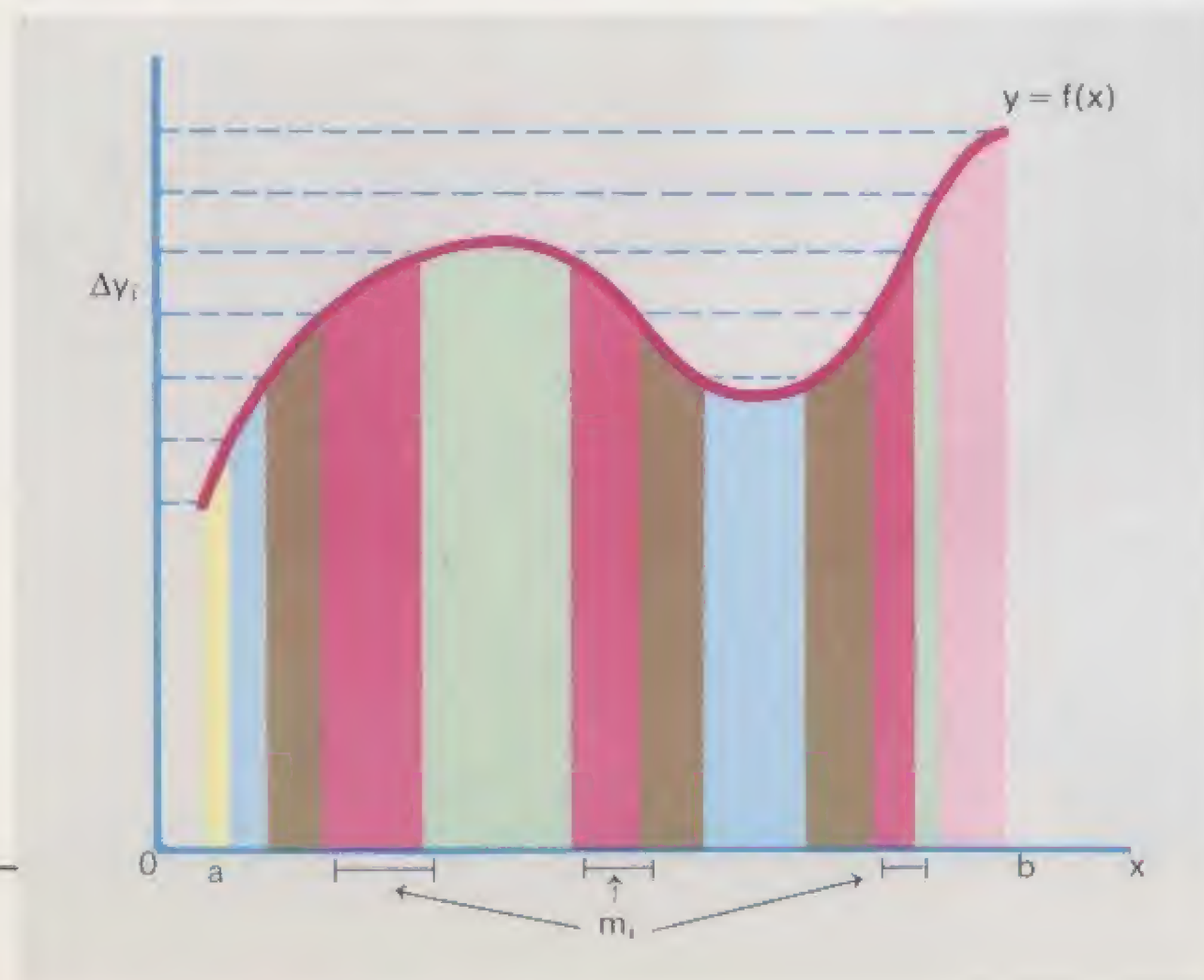
Sea el caso más simple posible; el de la función $f(x, y)$ del rectángulo $[a, b] \times [c, d]$ en \mathbb{R} y continua en el mismo. Se descomponen $[a, b]$ y $[c, d]$ en subintervalos, Δx_i y Δy_i , de modo que el rectángulo quede dividido en pequeñas parcelas; se forma la suma

$$\sum f(x_i, y_i) \Delta x_i \Delta y_i$$

y, a partir de ella, se obtiene

$$\int_a^b \int_c^d f(x, y) dx dy$$

que se llama *integral doble* de f en el rectángulo $[a, b] \times [c, d]$, definiéndola como el límite de la suma y correspondiendo geoméricamente al volumen que determinan la superficie $z = f(x, y)$, el plano $z = 0$ y los planos, paralelos al eje de coordenadas O_z , $x=a$, $x=b$, $y=c$ e $y=d$.



Para definir las integrales de Cauchy o de Riemann el área definida por $f(x)$ se aproxima por rectángulos cuyas bases son Δx_i y cuyas alturas son $f(x_i)$. Lebesgue tuvo la genial idea de invertir los términos y dividir el área en subáreas de altura dada por un y_i y bases los intervalos de x en los que f tome valores entre y_i e $y_i + \Delta y_i$. Cuando f es muy irregular este procedimiento es el más apropiado para el cálculo aproximado y para la definición de integral.

Inmediatamente puede ampliarse el concepto al caso de que el dominio de integración tenga una forma más general que la de un rectángulo y, utilizando como en el caso unidimensional, teorías más avanzadas cuando f no sea continua.

La generalización inmediata es la de *integral múltiple* de $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ función de \mathbb{R}^n en \mathbb{R} , en un dominio, D , de \mathbb{R}^n . Incluso se puede bajo ciertas condiciones, extenderse la integración a funciones definidas en espacios abstractos, como ya se ha apuntado antes, siempre que en ellos se den ciertas propiedades análogas a las que tiene \mathbb{R} y que las correspondientes funciones se parezcan a las de \mathbb{R} en \mathbb{R} .

Otra extensión posible, utilizada ya de antiguo, es el de la *integración en variedades*. El caso más simple es el siguiente: Sea $\mathbf{v}(x, y)$ un vector en el plano, variable en cada punto (lo que suele llamarse un *campo vectorial*, representativo, por ejemplo, de magnitudes físicas como fuerzas o velocidades); sus componentes, según dos ejes ortonormales, serán $v_1(x, y)$ y $v_2(x, y)$; su producto escalar por el vector $d\mathbf{l} = (dx, dy)$ será: $v_1(x, y)dx + v_2(x, y)dy$ (por ejemplo un trabajo elemental). Pues bien se plantea, a veces, el cálculo de la suma o integral de ese producto escalar a lo largo de una curva C , es decir:

$$\int_C \mathbf{v} d\mathbf{l} = \int_C v_1(x, y) dx + v_2(x, y) dy$$

que se llama *integral curvilínea* o *de línea* de \mathbf{v} a lo largo de C .

Cuando se trata de un espacio n -dimensional, caben en él variedades de dimensiones 1, 2, ..., $n-1$ (*hipercurvas* e *hipersuperficies*) y funciones vectoriales de las n variables, la situación también puede generalizarse. Así en el espacio \mathbb{R}^3 se definen integrales de *línea*, como en el caso plano, es decir

$$\int_C v_1 dx + v_2 dy + v_3 dz$$

y de *superficie*

$$\int_S v_1 dy dz + v_2 dz dx + v_3 dx dy$$

Muy ligado al problema de las *integrales curvilíneas* lo está el de la integración de funciones de variable compleja; es decir

$$\int_C f(z) dz$$

donde $z = x + iy$, $f(z) = u(x, y) + iv(x, y)$, i la unidad imaginaria y C una curva del plano complejo.

En general un modo de abordar todos estos casos es reducir la integración en variedades y las integraciones múltiples a integrales simples. Para ello el Cálculo Integral proporciona numerosos teoremas y métodos prácticos que es imposible resumir en un espacio breve.

Véase **Análisis matemático; Área y Volumen; Continuidad; Convergencia; Derivada y diferencial; Ecuaciones diferenciales; Función matemática; Series**

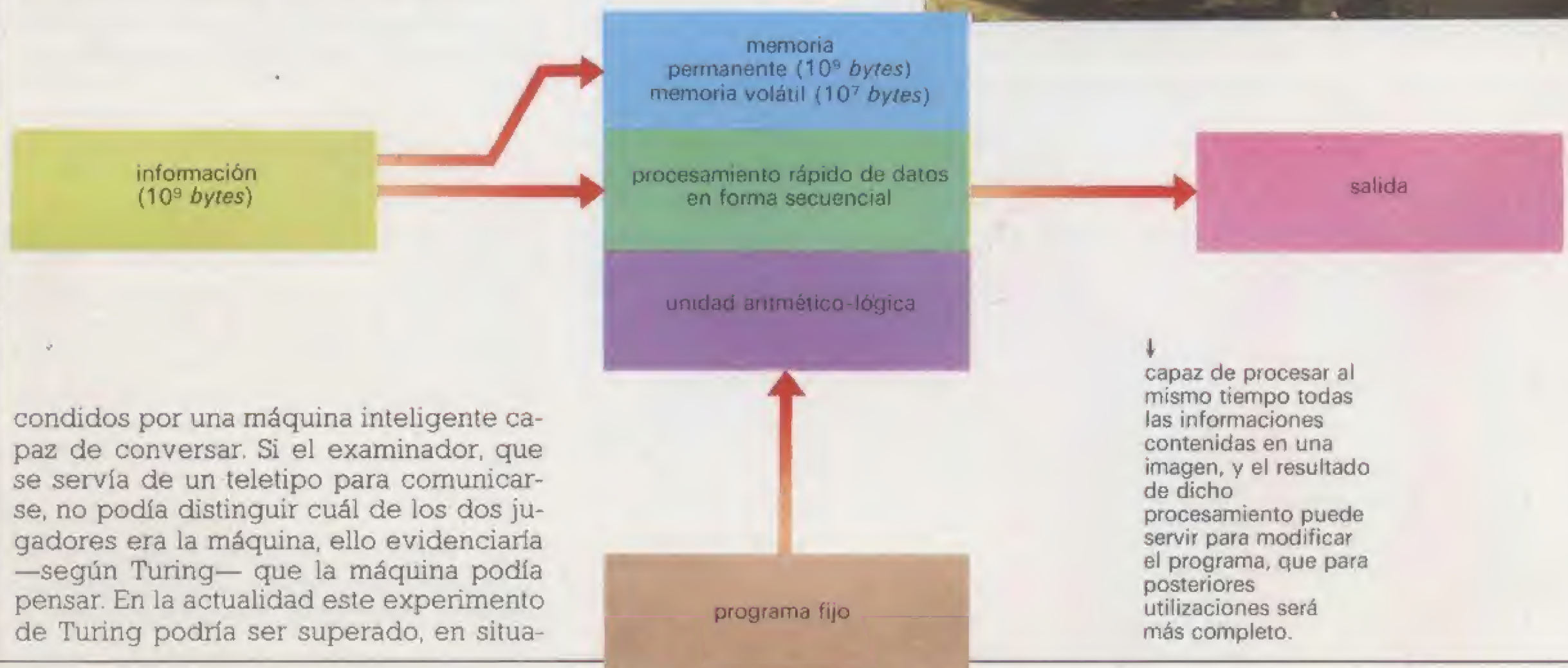
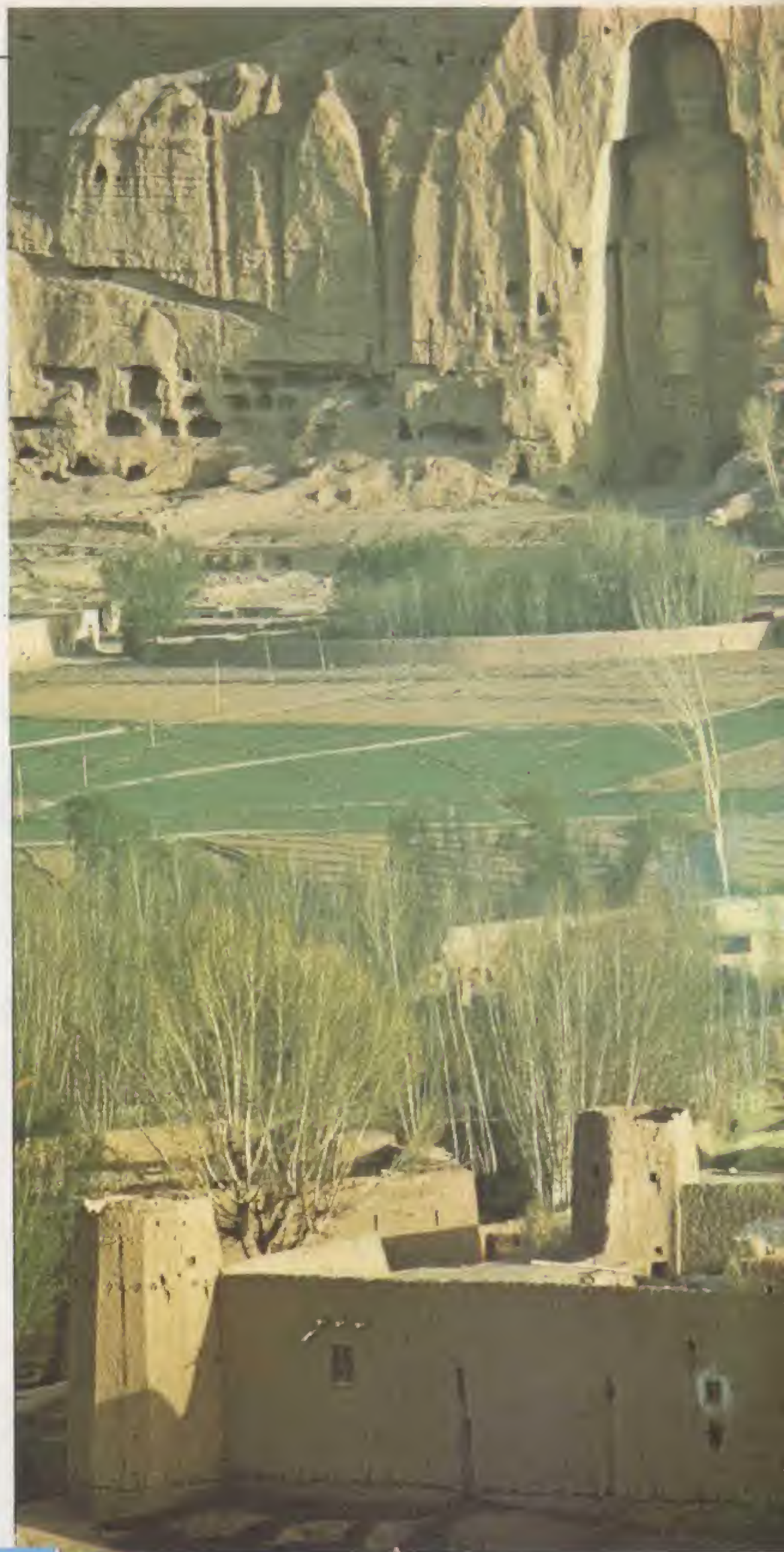
Inteligencia artificial

La finalidad de la inteligencia artificial consiste en crear teorías y modelos que muestren la organización y funcionamiento de la inteligencia. Actualmente, el mayor esfuerzo en la búsqueda de la inteligencia artificial se centra en el desarrollo de sistemas de procesamiento de datos que sean capaces de imitar a la inteligencia humana, realizando tareas que requieran aprendizaje, solución de problemas y decisiones. A veces llamada *inteligencia de máquina*, la inteligencia artificial o AI (*Artificial Intelligence*) cubre una vasta gama de teorías y prácticas.

La base de la inteligencia artificial La inteligencia artificial se basa en dos áreas de estudio: el cerebro humano y el ordenador electrónico. Puesto que la meta es copiar la inteligencia humana, es necesario entenderla. Sin embargo, a pesar de todos los progresos en Neurología y Psicología, la inteligencia del hombre se conoce poco, exceptuando sus manifestaciones externas. Muchos estudiosos de la inteligencia artificial se han vuelto —para obtener su modelo de inteligencia— hacia el estudio de la Psicología cognoscitiva, que aborda la forma de percibir y pensar de los seres humanos. Después comprueban sus teorías programando los ordenadores para simular los procesos cognoscitivos en el modelo. Otros investigadores intentan obtener teorías generales de la inteligencia que sean aplicables a cualquier sistema de inteligencia y no sólo al del ser humano.

¿Pueden pensar las máquinas? En 1950 el matemático inglés Alan M. Turing publicó un ensayo que comenzaba así: "Quiero proponer la pregunta: ¿Pueden pensar las máquinas?". Como la pregunta era demasiado vaga (¿Qué entendemos por "pensar"?), Turing desarrolló un experimento basado en un juego de salón en el que una persona formula a dos jugadores escondidos (un hombre y una mujer) preguntas que le servirán para descubrir cuál de los dos es la mujer. Turing propuso sustituir uno de los dos jugadores es-

Puesto que los ordenadores realizan operaciones para las cuales nuestro cerebro es excelente, se suele llamar *inteligencia artificial* (AI) al conjunto de las operaciones que pueden realizar los ordenadores. Sin embargo, existen grandes diferencias entre el funcionamiento de las máquinas y el del cerebro: algunas son evidenciadas en el esquema bajo estas líneas. Las máquinas y el cerebro se diferencian en muchos aspectos: el primero es el ligado a la arquitectura del sistema de memoria y a la elaboración realizada por la inteligencia natural, que influye en los programas sucesivos al ser almacenada en la memoria que mantiene disponibles todos los hechos que se han ido acumulando a lo largo del tiempo. Abajo, a la izquierda, se muestra el esquema de funcionamiento de un sistema artificial: procesa datos que recibe del exterior y que le son presentados ya seleccionados. Los procesa mediante un programa fijo, siempre elegido y construido por el hombre, es decir, desde el exterior. Este programa es sencillo comparado con los utilizados por el cerebro humano. A lo largo del tiempo, un mismo programa que procese los mismos datos obtendrá siempre los mismos resultados. Sin embargo, este sistema es muy veloz cuando se le piden secuencias de operaciones. Contrariamente, el cerebro humano es



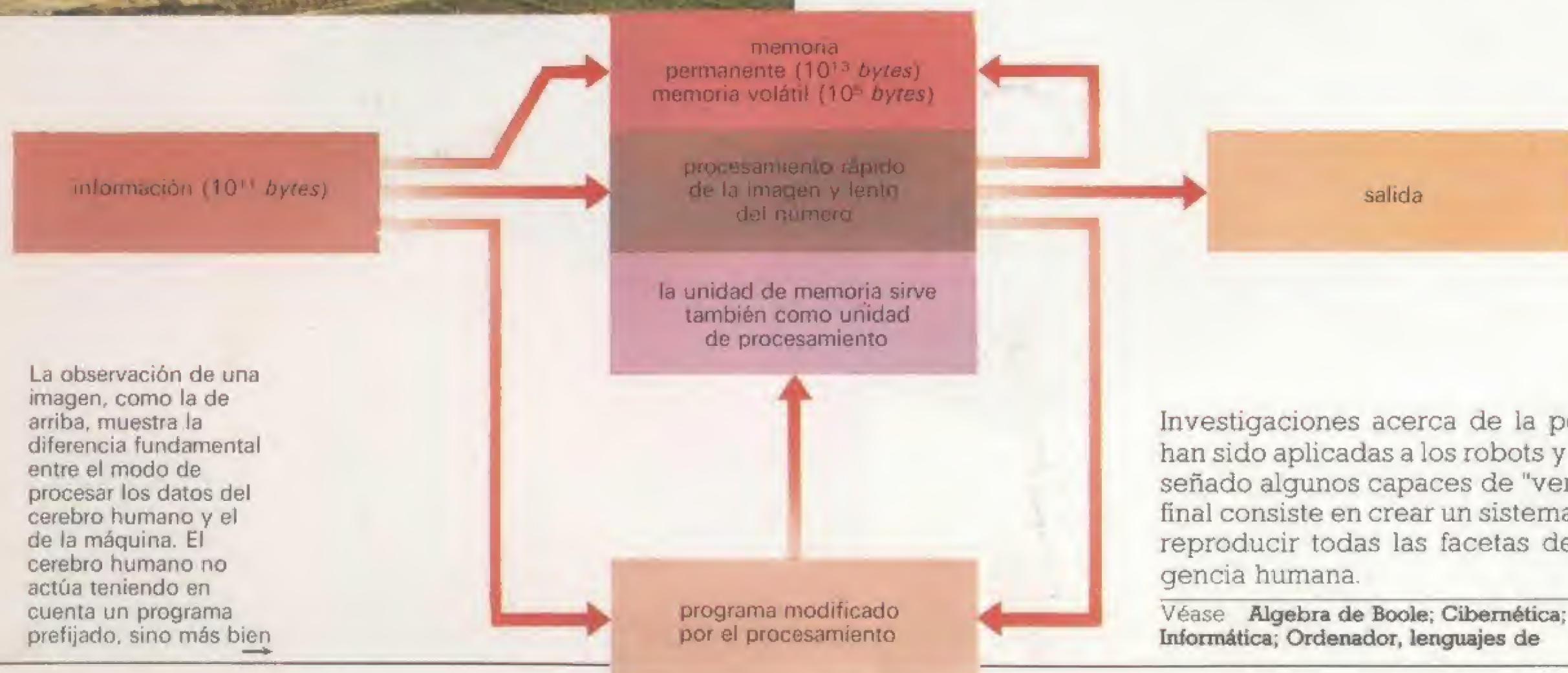


→ uno de naturaleza variable en el tiempo; las variaciones dependen de los resultados precedentes. De hecho, el cerebro tiene la propiedad de recordar imágenes similares; una vez vista la figura, extrae de su memoria imágenes similares previamente almacenadas y los resultados de los análisis realizados sobre ellas. Estos resultados sirven para mejorar el programa según el cual sacará conclusiones aplicadas al examen de la figura. Por ejemplo, bastará poca información precedente para comprender que la figura en primer plano de abajo corresponde a construcciones humanas; pero puede ser sólo la experiencia la que permita decidir que se trata de fortificaciones, pertenecientes, además, a una época determinada. La explanada dividida en recuadros indica actividades agrícolas, y el fondo —para una "inteligencia" bien informada por experiencias previas—, una serie de noticias relativas a la naturaleza geológica del terreno, su estabilidad frente a la erosión, etc. Todo el contexto sugiere además el tipo de relación entre el hombre y el medio, así como otros muchos factores. Todo esto es posible para el cerebro humano, ya que además de poseer una enorme memoria, tiene siempre disponible toda la experiencia de análisis y observaciones y puede "consultarla" al iniciar un nuevo análisis o examen.

ciones limitadas, por muchos programas de ordenador estudiados para dialogar con el usuario.

Investigaciones acerca de la inteligencia artificial realizadas en la Universidad de Yale (EE UU) han llevado al desarrollo de programas de ordenador mediante los cuales éstos pueden aprender y razonar. Otros estudiosos de la inteligencia artificial están poniendo a punto sistemas para dotar a los ordenadores de capacidad visual y auditiva. Una importante área de investigación es la del lenguaje normal, que permite a los ordenadores comunicarse mediante lenguaje humano en lugar de hacerlo en lenguaje de máquina. Es decir, la mayoría de los ordenadores están programados para recibir e interpretar instrucciones de este tipo: S#DYZ=48-56, LOC=AS NOT SW, EN=RALSTON". Únicamente personas preparadas son capaces de comunicarse eficazmente de esta forma. Pero si un ordenador programado para gestionar la documentación de una compañía petrolífera pudiese entender la orden dactilografiada (traducción de la anterior) "Encuétrame toda la documentación relativa a las perforaciones de los pozos en Arabia Saudí entre 1948 y 1956, pero únicamente la de los pozos en que trabajó Ralston, no los de la zona suroccidental del país", muchas personas podrían utilizarlo.

Los fines de la AI Las primeras investigaciones acerca de la inteligencia artificial estaban principalmente dirigidas al hallazgo de una técnica universal para la solución de problemas. Este intento a gran escala ha sido abandonado y las investigaciones actuales están dirigidas al diseño de numerosos programas para ordenadores capaces de imitar los procesos de toma de decisiones de expertos, como médicos, químicos, geólogos, ingenieros, etc. Dichos sistemas, basados en los conocimientos de especialistas en cada materia, son ahora utilizados para diagnosticar enfermedades, identificar moléculas químicas, localizar yacimientos de minerales e incluso diseñar sistemas de fabricación.



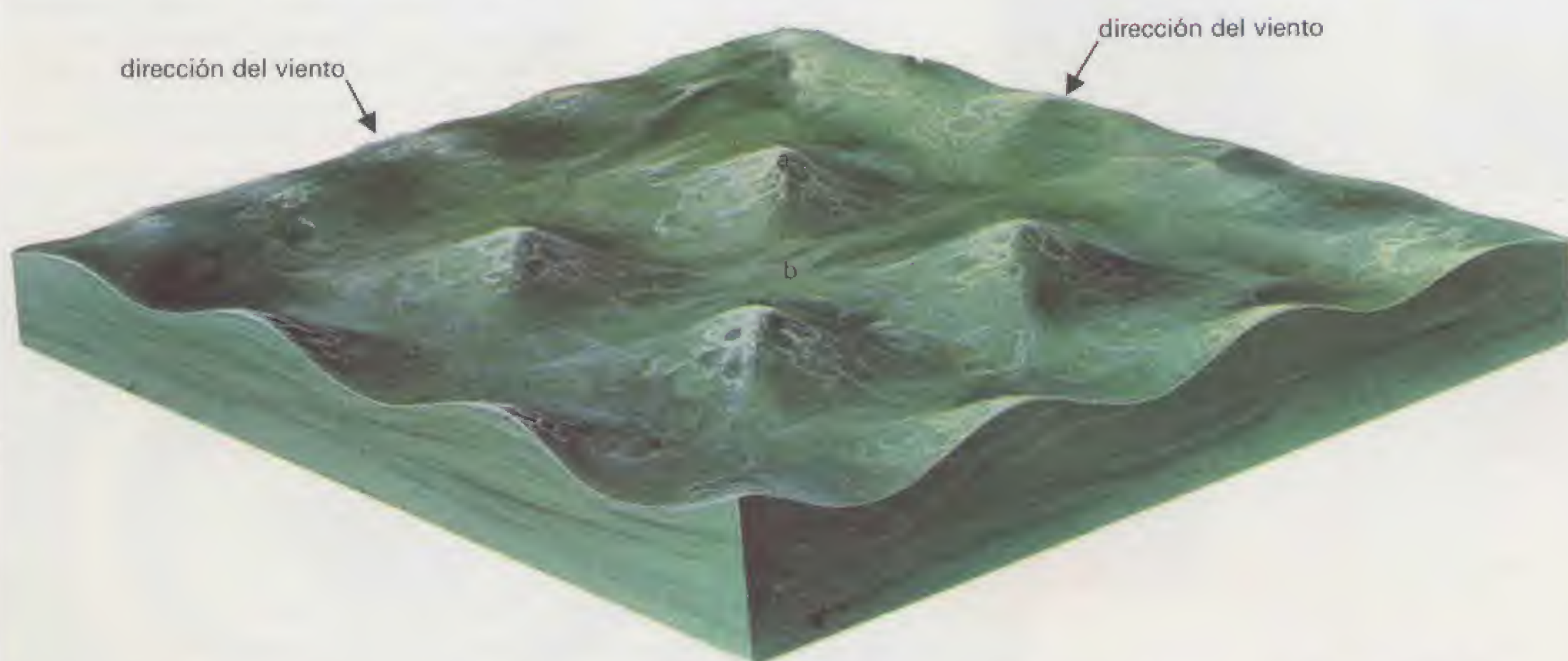
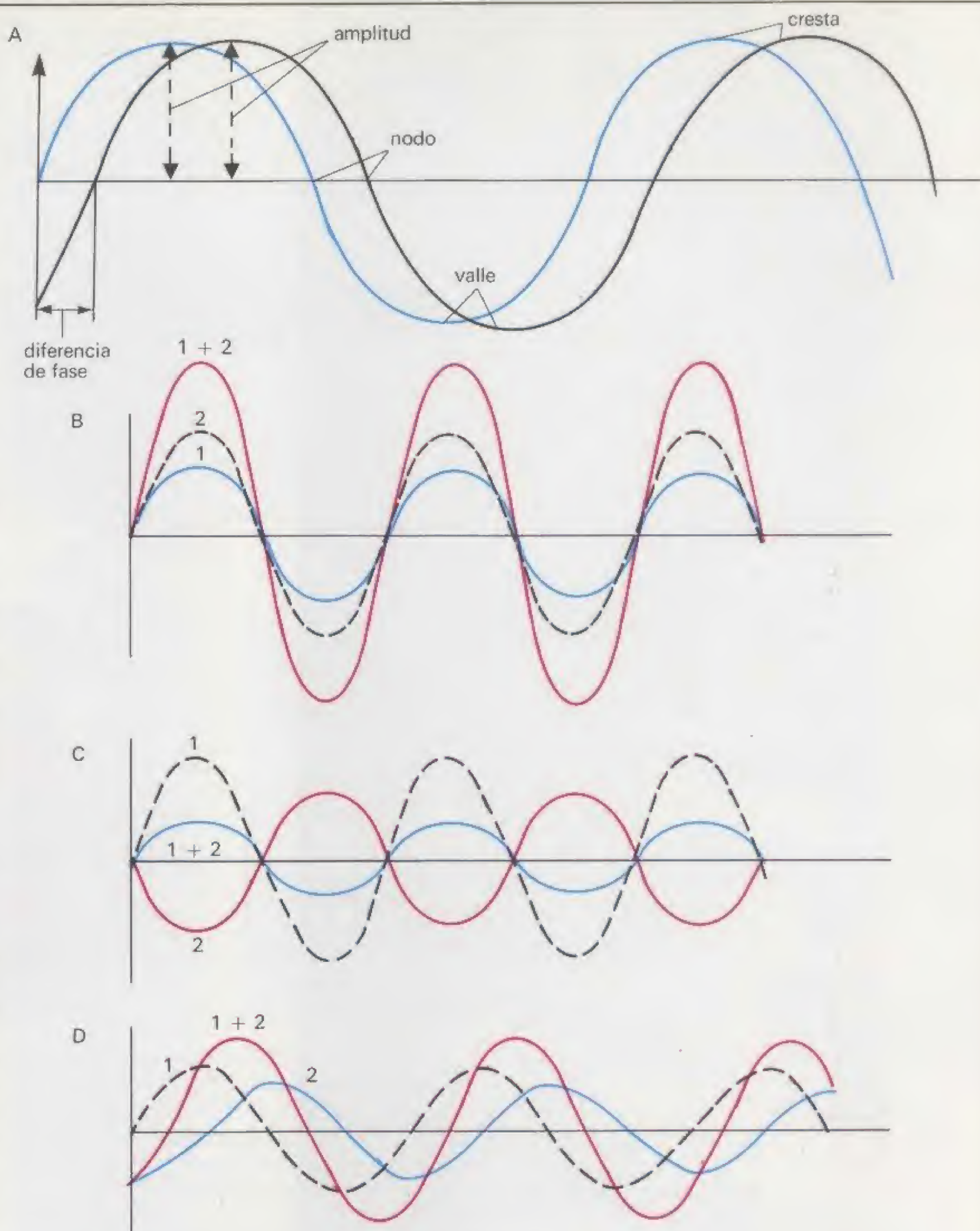
Interferencia e interferometría

El Universo, tal y como lo percibimos con nuestros sentidos y con los instrumentos que nos proporciona la ciencia, está formado por muchos fenómenos diferentes. La luz, el sonido, la vibración sub-sónica de las masas, la gravedad, los fenómenos electromagnéticos y las partículas atómicas descubiertas recientemente definen el mundo físico. Algunos de estos fenómenos tienen en común una característica fundamental: son fenómenos de tipo *ondulatorio*. Al existir en el Universo muchas fuentes de ondas, éstas interactúan y se producen influencias recíprocas en el comportamiento.

El estudio de las reglas que gobiernan la interferencia entre ondas y de las técnicas que utilizan interferencias en las medidas científicas se llama *Interferometría*.

Características de las ondas Las ondas, sean del tipo que sean, tienen características comunes. En primer lugar, todas tienen una fuente de la que proceden: la fuente de una onda electromagnética de radiofrecuencia puede ser una estrella o una antena emisora de radio; la fuente de un sonido puede ser la garganta de una persona o un choque entre dos objetos; la fuente de una onda luminosa puede ser el Sol o una bombilla, etcétera.

Todas las ondas tienen una *amplitud* y una *frecuencia*. La amplitud de una onda es su altura máxima desde su valor medio. Por ejemplo, en una ola del mar su amplitud se obtiene del desnivel entre una cresta y el valle contiguo. La secuencia de una cresta y un valle, es decir, una onda completa, se llama *ciclo* u *oscilación completa*. La frecuencia de una onda es simplemente el número de oscilaciones completas que pasa por un punto en un segundo. Existen *ondas electromagnéticas* con frecuencias comprendidas entre cientos de ciclos por segundo y millones de billones de ciclos por segundo, estando la



En el primer dibujo se han representado dos ondas de la misma amplitud con una diferencia de fase (A). En el segundo se ha representado la suma de dos ondas de

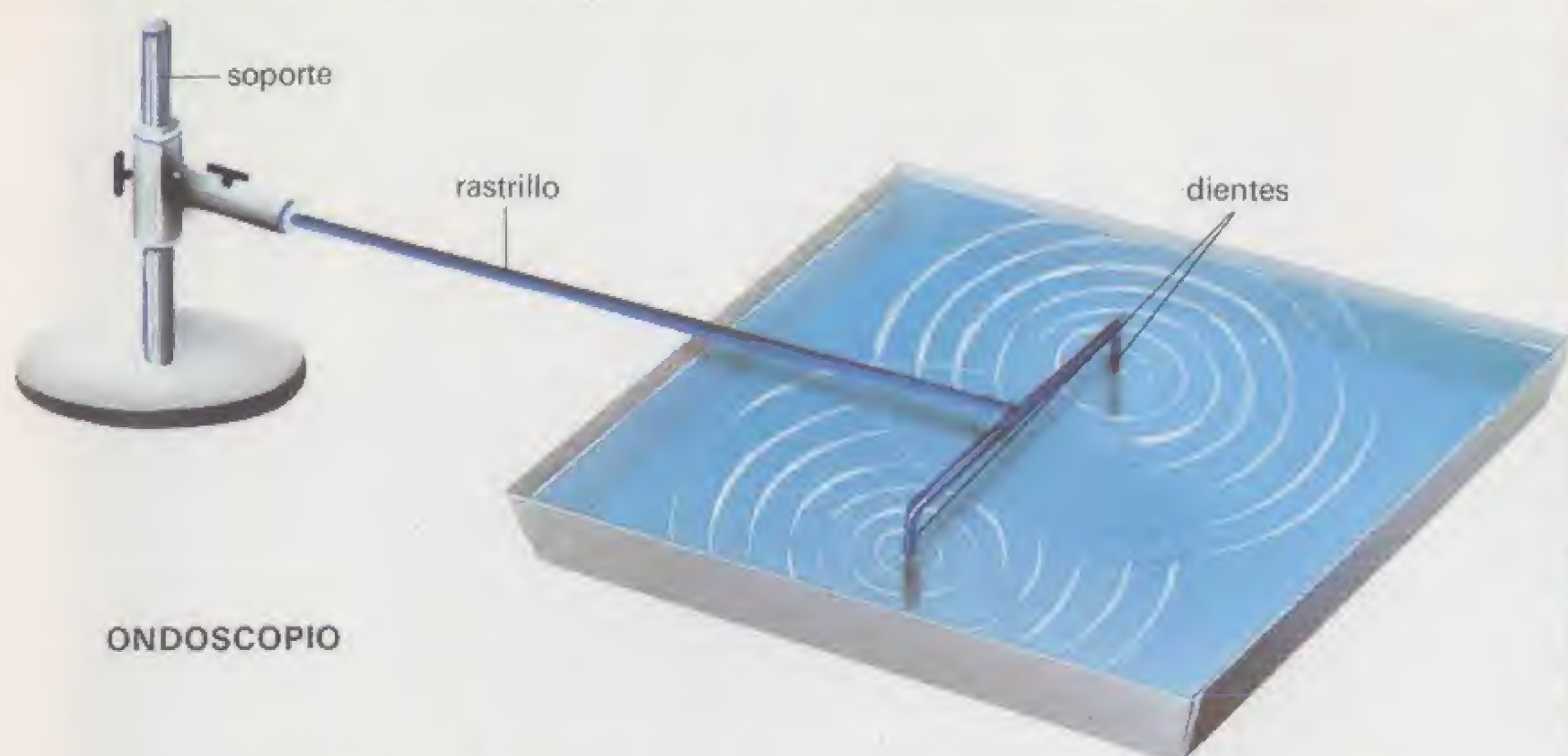
distinta amplitud que están en fase: la amplitud de la onda resultante es la suma de la amplitud de las dos ondas (B). Cuando las dos ondas están en oposición de fase a

una cresta de la onda 1 le corresponde un valle de la onda 2, como en el tercer dibujo (C); la amplitud resultante es la diferencia de las dos amplitudes. En el

cuarto dibujo se ha representado la suma de dos ondas de distinta amplitud y con una cierta diferencia de fase (D). Todo esto se puede resumir observando el

movimiento de las olas del mar: cuando el viento levanta el mar, se forma un sistema de olas que van en la dirección del viento. Si cambia el viento, se crea otro sistema de

olas que se propagará en la dirección nueva. Donde se encuentren los dos sistemas, las ondas se sumarán (a) o se restarán (b), según estén o no estén en fase.



ONDOSCOPIO

El ondoscopio es un aparato simple que permite comprobar la interferencia entre dos ondas: un rastrillo de dos dientes crea dos sistemas de ondas concéntricas moviendo el agua del recipiente.

Como se puede ver también en la foto de la derecha, el agua se queda inmóvil justo en los puntos en que las ondas están en oposición de fase. El fenómeno de interferencia de ondas

luminosas permite también controlar la superficie de las lentes (foto inferior, a la derecha). Apoyando un vidrio perfectamente esférico sobre la lente, la luz reflejada por las dos superficies se



frecuencia de la luz visible (billones de ciclos por segundo) aproximadamente en la mitad de los dos extremos. La frecuencia de las *ondas de sonido* —que no son un fenómeno electromagnético, sino que son debidas a vibraciones mecánicas en los materiales— es mucho más baja: el oído humano distingue sonidos de frecuencias comprendidas entre 20 y 20.000 ciclos por segundo (Hz). Las frecuencias de la voz humana están entre 89 y 1.100 ciclos por segundo.

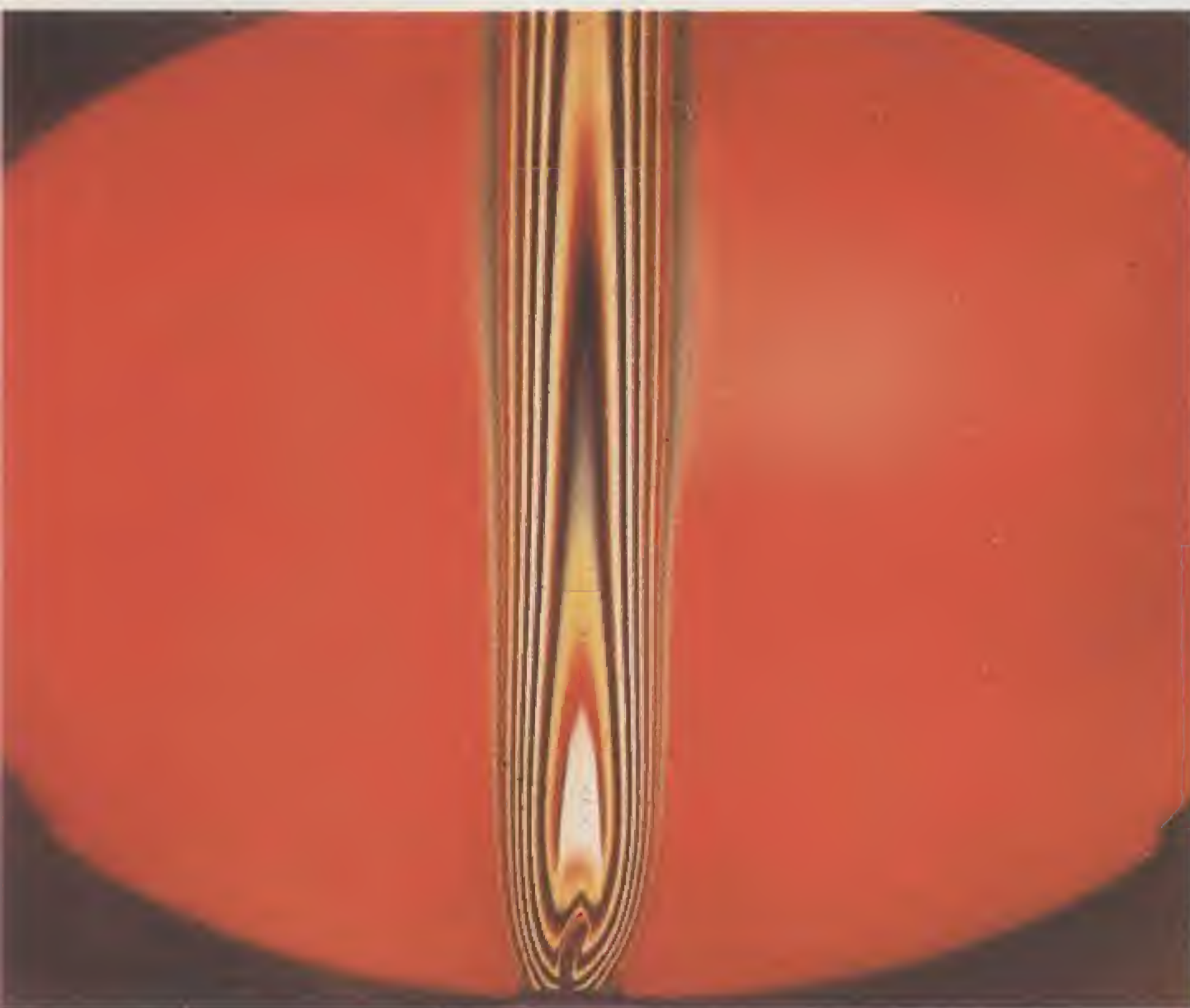
Interferencia Por la naturaleza misma del Universo existen siempre ondas que se cruzan con otras ondas; por ejemplo, en el océano las olas chocan constantemente unas con otras. Si las ondas tienen la misma frecuencia y coinciden cresta con

cresta y valle con valle (están *en fase*), la amplitud de la onda en la zona de encuentro es la suma de las amplitudes de cada una de las ondas. Si, en cambio, la cresta de una onda coincide con el valle de otra que tenga la misma frecuencia (son ondas *en oposición de fase*) y si, además, las dos ondas tienen la misma amplitud, se anulan y por tanto no existe entonces una onda resultante.

Interferometría A principios del siglo pasado, el científico inglés Thomas Young (1773-1829) consiguió visualizar fenómenos de interferencia en la luz. Young hizo pasar un rayo de luz por dos ranuras estrechas situadas una al lado de la otra y notó que en algunos puntos las ondas se reforzaban mientras que en otros se anu-

laban. A finales del siglo XIX, el físico estadounidense —nacido en Polonia— Albert Michelson (1852-1931) construyó un instrumento para medir la longitud de onda de la luz aprovechando el fenómeno de la interferencia. Este aparato, llamado *interferómetro* de Michelson, divide un haz de luz en dos o más partes y las envía —a través de espejos u otros sistemas ópticos— por recorridos distintos, para después volver a unirlos. Observando a través del objetivo del aparato el rayo obtenido, se percibe un cierto número de anillos o *franja*s de interferencia, demostrando así que ha habido interferencia entre los dos rayos.

Véase **Acústica; Luz; Movimientos ondulatorios**



↓
interfiere, formando franjas de interferencia. Si la superficie de la lente es perfectamente esférica, las franjas

serán también totalmente redondas. A la izquierda, el aspecto que tiene la llama de una vela vista con un interferómetro.

Intestino

El intestino es una de las partes más interesantes y más necesarias de nuestro organismo. En efecto, podría definirse como un órgano adaptado para la transformación del alimento, dado que prepara el alimento de manera que éste pueda ser útil para satisfacer las necesidades nutritivas del organismo. Situado en la cavidad abdominal, a la que llena totalmente con sus asas, comprendido entre el estómago y la vejiga, el intestino está constituido por dos partes: el *intestino delgado* y el *grueso*. Sus funciones principales consisten en transportar el alimento a través de la parte inferior del conducto alimenticio, o aparato digestivo, y en proporcionarle una superficie a través de la cual las sustancias nutritivas puedan ser absorbidas por el organismo.

Intestino delgado Se trata de un órgano increíblemente largo (su longitud puede llegar hasta los 7,6 metros), dividido en tres partes: el *duodeno* (de aproximadamente 30 centímetros y con forma de herradura) es la primera y transporta el alimento desde el estómago al tramo siguiente, el *yeyuno* (que constituye los 2/5 superiores del resto del intestino), de donde pasa al último y más grande, el *ileon* (situado antes del intestino grueso).

Se requieren unas 5 ó 6 horas para que un alimento normal atraviese el intestino delgado. La mayor parte del proceso de la absorción digestiva tiene lugar en esta parte del intestino, y las sustancias nutritivas absorbidas por las paredes intestinales pasan a la corriente sanguínea y al sistema linfático. Un residuo líquido formado

por agua y sustancias de desecho alcanza posteriormente el intestino grueso.

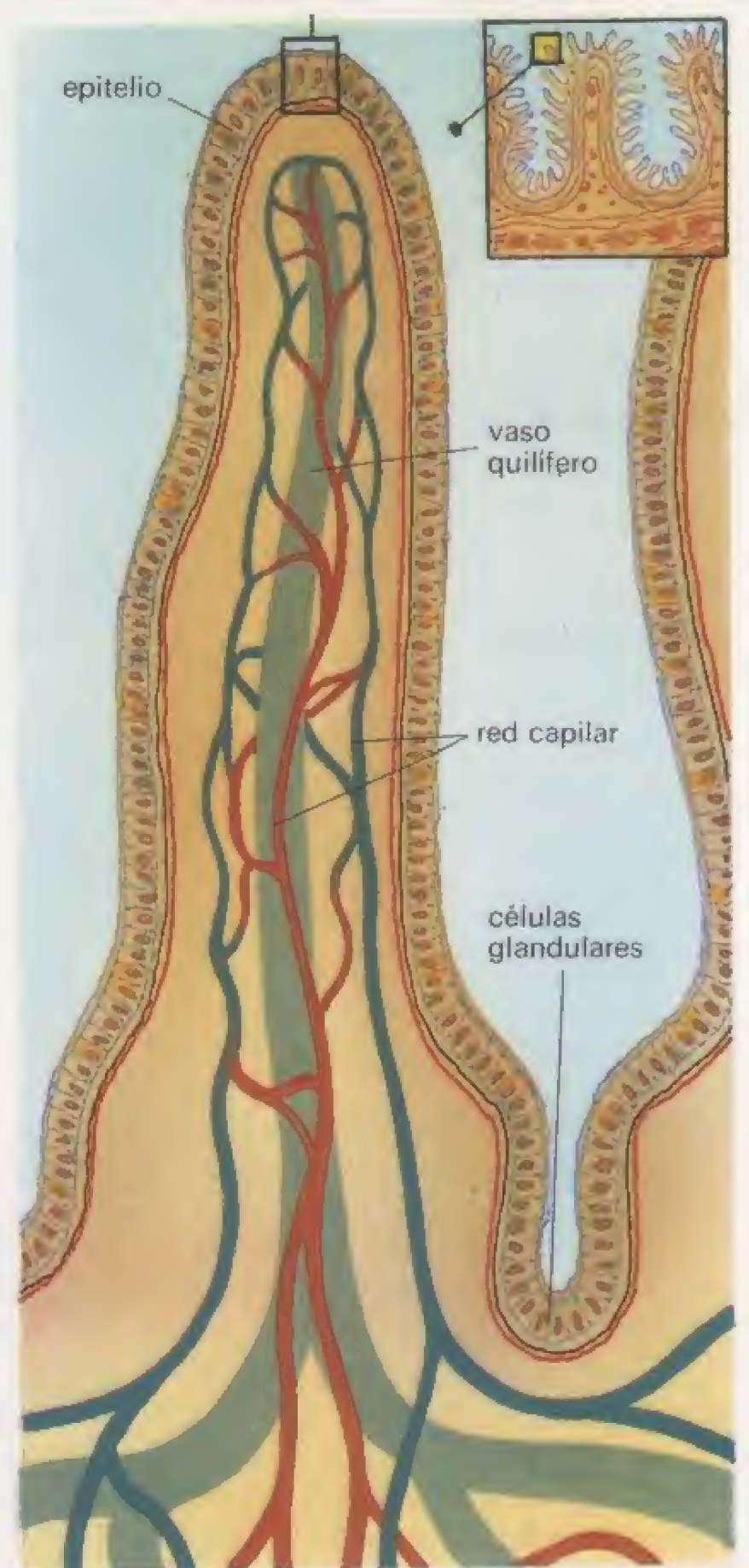
El revestimiento interno del intestino delgado segrega pequeñas cantidades de una sustancia denominada *jugo entérico*, que facilita los últimos procesos de la función digestiva, actuando fundamentalmente sobre los hidratos de carbono y las proteínas. El intestino delgado es capaz de absorber un gran número de sustancias nutritivas durante la digestión, dado que posee una amplia superficie entre los numerosos pliegues circulares de su mucosa, o revestimiento interno, que puede expandirse, llegando a adquirir unas dimensiones mucho mayores que las normales. Esta mucosa está recubierta por unas protuberancias microscópicas similares a dedos, llamadas *vellosidades intestinales*, que incrementan ulteriormente la zona de absorción y que le dan un aspecto aterciopelado.

El intestino delgado transporta su contenido por medio de un movimiento ondulatorio llamado *peristalsis*. Estas contracciones rítmicas —pues se producen a intervalos regulares— sirven para impele el material nutritivo hacia delante mientras que va siendo amasado y mezclado. Dichas contracciones tienen lugar en las paredes musculares del intestino y pueden producirse 20 veces por minuto, moviendo continuamente los trozos de alimentos a digerir que están en contacto con las paredes intestinales.

Intestino grueso El intestino grueso está dividido en cuatro partes: el *ciego*, situado en la parte inferior derecha del abdomen, donde el intestino delgado descarga su líquido; el *colon*, de una longitud de unos 2 metros y que forma una especie de marco que rodea al intestino delgado y que termina en la región recto-anal; el *recto*, la última parte del intestino, donde permanecen las heces antes de ser expulsadas (en las mujeres se encuentra detrás de la vagina, en los hombres detrás de la próstata; en ambos sexos se sitúa justamente en la parte anterior del extremo inferior de la columna vertebral); y el *ano*, de una longitud de 25 milímetros aproximadamente, que es el extremo final del aparato digestivo y que sirve como canal a través del cual los residuos orgánicos se expulsan del organismo.

Casi todas las sustancias absorbidas por el intestino grueso en el organismo están compuestas por agua y por sales. Se trata de un movimiento de mezcla, oscilante, con contracciones similares a las del intestino delgado, pero más lentas. Periódicamente tiene lugar un impulso propulsor, habitualmente cuando el alimento es ingerido. Las contracciones principales comienzan en el ciego y continúan a través del colon, provocando la necesidad de defecar. Las células muertas, las bacterias y las secreciones intestinales se combinan con las sustancias de desecho para formar unos 75 a 180 gramos de heces al día en una persona de peso medio.

Entre las principales enfermedades

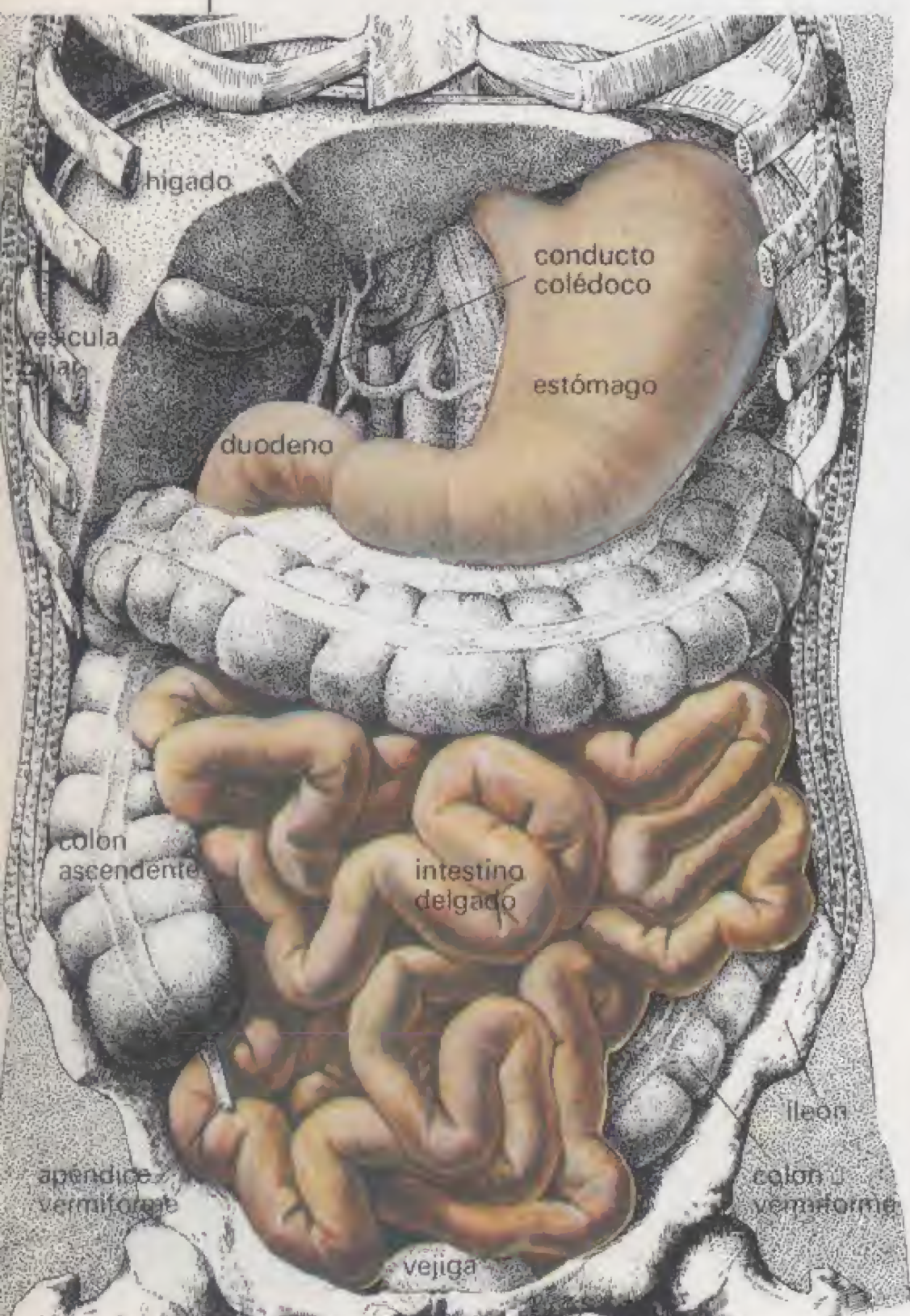


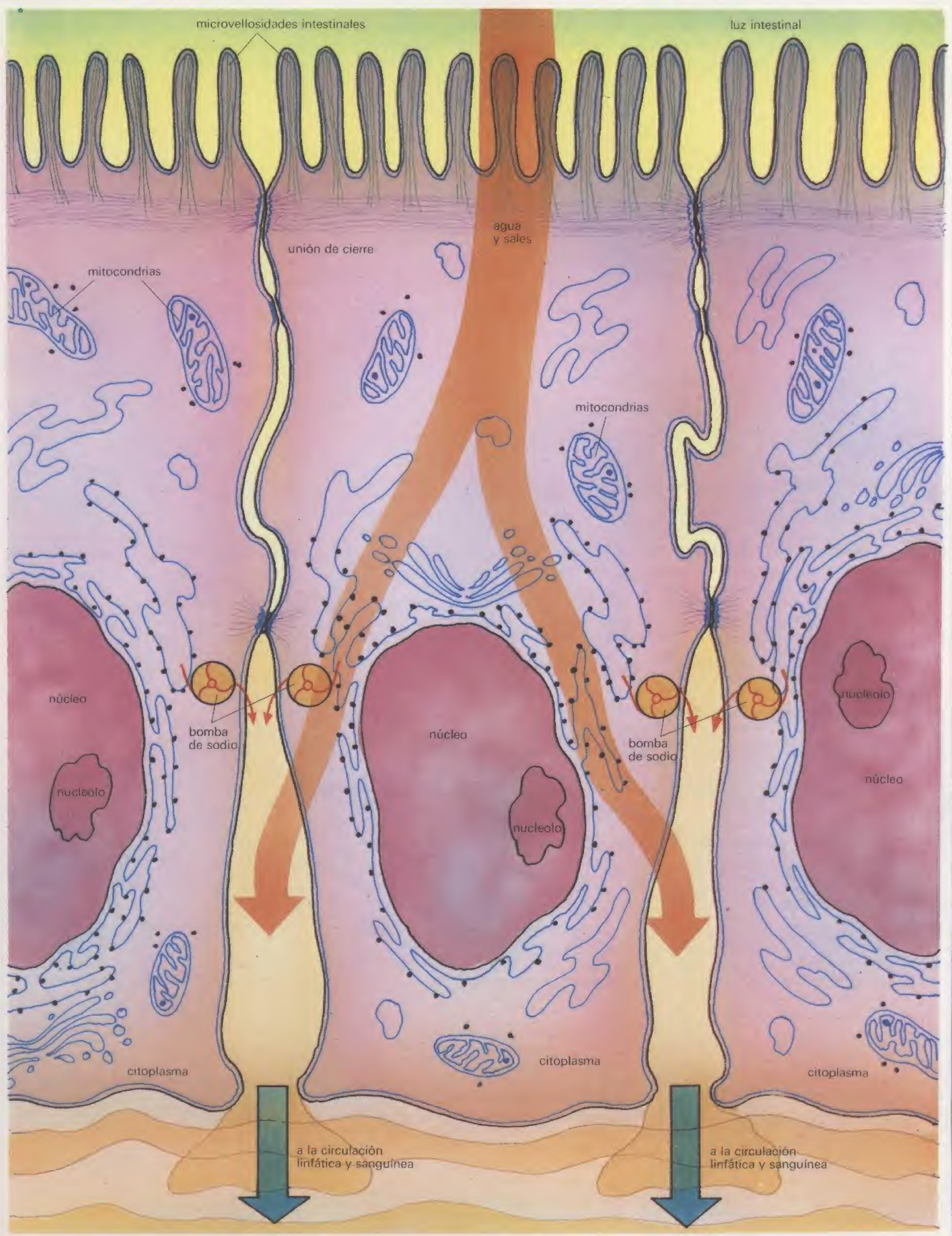
En el dibujo de la izquierda se muestra un esquema anatómico en el que se aprecian las relaciones del intestino con los otros órganos del aparato digestivo. Como puede verse, la masa intestinal llena toda la región abdominal. Arriba, dibujo esquemático de una vellosidad intestinal del ileon. La vellosidad se encuentra repleta de vasos linfáticos y está circundada por un epitelio especializado para la absorción, bajo el que se encuentran vasos sanguíneos y células secretoras de una mucina protectora. Al lado observamos células glandulares que segregan enzimas.

En la ilustración grande de la página siguiente se recoge el posible recorrido del agua y de las sales a través de las células epiteliales intestinales. Las flechas indican ese recorrido, que finaliza en el lumen situado entre dos células adyacentes y, en consecuencia, en los vasos sanguíneos subyacentes. Se han representado también las bombas de sodio, de fundamental importancia para el mantenimiento del equilibrio hidrosalino del organismo. En la parte superior, las vellosidades están circundadas por una capa de secreción mucosa protectora.

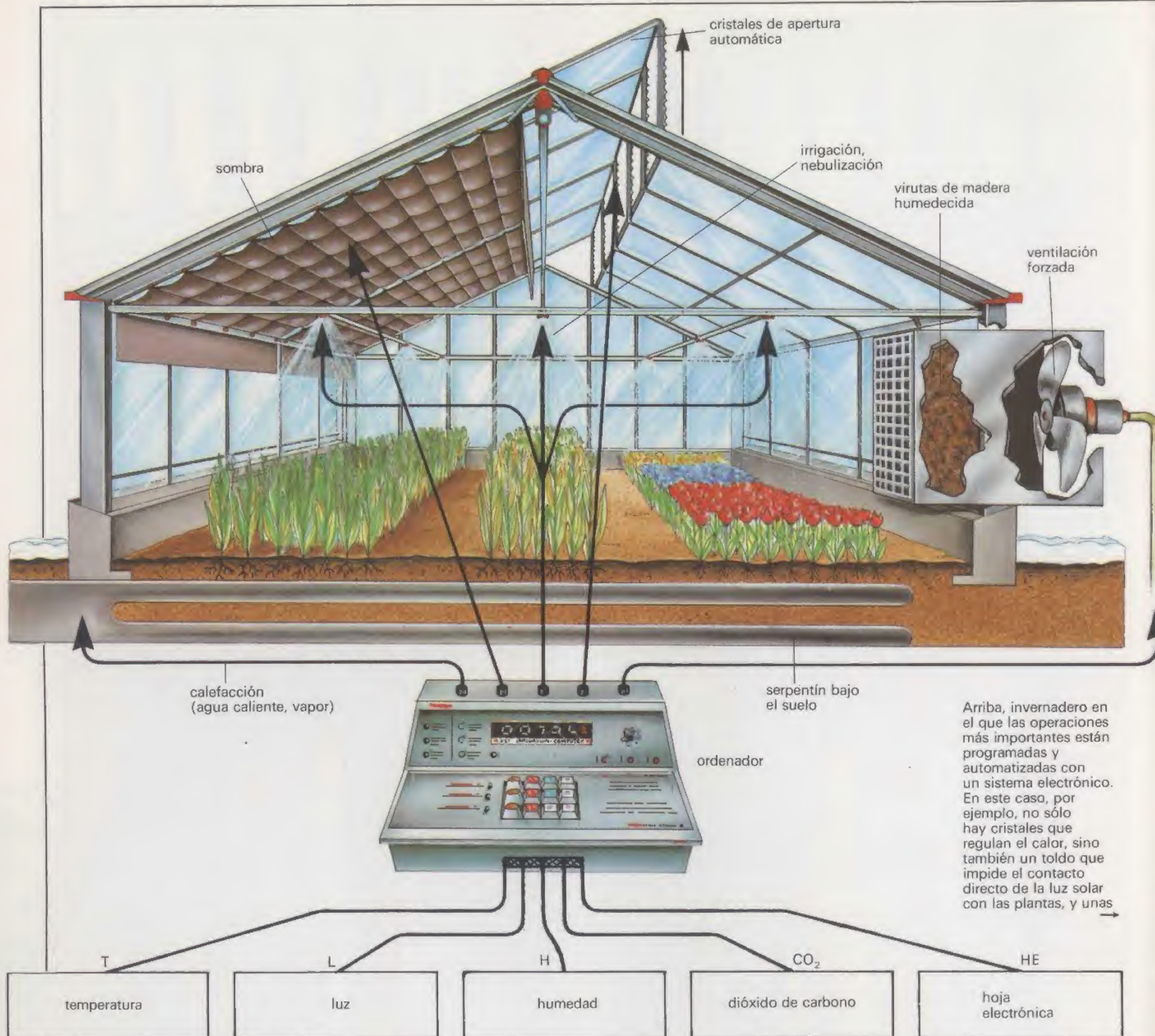
que afectan al intestino se encuentran las *obstructivas*, que sólo se resuelven quirúrgicamente y que pueden llevar rápidamente a la muerte, y las *tumorales*, que con frecuencia presentan caracteres muy graves por la alta invasividad de este tipo de tumores.

Véase **Digestión; Digestivo, aparato; Estómago**





Invernadero



Ciertas plantas, aunque pueden vivir al aire libre, se benefician de los ambientes artificiales creados en unos refugios especialmente pensados para ellas: los *invernaderos*. Gracias a estas construcciones las plantas pueden crecer allí donde el clima les es hostil. Además, en ellos las plantas estacionales pueden progresar fuera de su estación, y las tropicales se pueden desarrollar cuando el clima exterior es frío o seco.

Hay muchos tipos de invernadero. Generalmente tienen las paredes de cristal o de plástico transparente o traslúcido, y en su interior se pueden controlar todos los factores ambientales (grado de humedad, temperatura, insolación) para favorecer el crecimiento de las especies vegetales que en ellos se cultivan.

Uso de los invernaderos Hay muchas especies de plantas que pueden llegar a la floración en los invernaderos independientemente de su época de floración en el exterior; el proceso se llama *cultivo forzado*, y se aplica tanto con fines industriales como de investigación o estéticos. Especialmente útiles resultan los invernaderos en los jardines botánicos, donde, gracias a ellos, se puede exponer al público una serie de plantas exóticas o raras. Además sirven para proteger a ciertas plantas jóvenes mientras no son lo bastante fuertes como para vivir en el exterior. También hacen de laboratorio: si se producen fallos en los cultivos, se puede buscar sus causas creando un ambiente controlable, como es precisamente el de los invernaderos. Las condiciones del suelo, así como

la temperatura y la humedad, se pueden ir modificando para observar su efecto sobre las plantas. Los invernaderos más modernos regulan su funcionamiento mediante ordenador, gracias al cual se puede responder con la mayor precisión a las exigencias de las plantas, regulando todos los factores que influyen en su vida.

Tipos de invernaderos El perfil de un invernadero puede ser de varios tipos. Los *planos* sólo se construyen en zonas donde llueve poco, y se sujetan con vientos o palos inclinados; los invernaderos en *capilla* son los que tienen el techo inclinado, a un agua —muchas veces se apoya en otro edificio— o a dos aguas. Cuando se unen en batería varios invernaderos a un agua, se obtienen los de *diente de sie-*

rra, en los que la ventilación se realiza por ventanas en las paredes y en la parte superior, o sea en las paredes verticales de los dientes de sierra. El de tipo *parral* es un invernadero montado como una tienda de campaña. Otros invernaderos tienen forma de *túnel*, por medio de arcos semicirculares o semielípticos: son muy apropiados cuando el clima es lluvioso, y resisten bien el viento.

Las estructuras pueden ser de madera, aluminio y otros metales, así como de hormigón armado. Se utiliza mucho también el alambre galvanizado.

Las cubiertas pueden ser de cristal, en cuyo caso se utiliza un tipo de vidrio pulido por una cara y rugoso por la otra (la que da al interior), que tiene mejores propiedades de luminosidad. Cada vez se utilizan más los plásticos, debido a su fácil montaje, aunque no tienen una capacidad aislante tan buena como el cristal, ni la misma transparencia. Además, el plástico es combustible y se deteriora con mayor rapidez.

Regulación de la temperatura Los invernaderos comerciales se calientan con instalaciones a base de vapor, agua caliente o aire caliente. Los de aficionados suelen calentarse de forma independiente, o bien aprovechando la calefacción de la vivienda. En cualquier caso, el Sol es la principal fuente de calor de un invernadero, tanto en verano como en invierno. Para evitar un calentamiento excesivo, se instalan ventanas y respiraderos en las paredes o en la techumbre, o un sistema de ventilación forzada, con sus correspondientes bocas. El aire puede llegar al in-

vernadero después de haber pasado por unos paneles de tela metálica llenos de viruta de madera humedecida, lo que aumenta la humedad relativa del recinto y disminuye la temperatura. En los invernaderos particulares se pueden instalar pequeñas unidades de refrigeración, pero por lo general resulta demasiado caro un sistema acondicionador del aire. En los invernaderos para investigación científica, hay que regular los parámetros ambientales con gran precisión.

En relación con la temperatura, hay cuatro tipos fundamentales de invernade-



ros: los *invernaderos fríos*, que no disponen de calefacción y sólo recurren al calor del Sol y a los cortavientos para mantener su temperatura más elevada que en el exterior; son muy adecuados para las plantas que soportan heladas ligeras. En los *invernaderos frescos* la temperatura mínima no baja de los 7 °C; son apropiados para gran número de plantas, siendo los más utilizados por los pequeños cultivadores. Los *invernaderos intermedios*, en los que la temperatura mínima no baja de los 13 °C, son los más indicados para las orquídeas. Los *invernaderos calientes*, cuya temperatura se mantiene constante por encima de los 16 °C, son adecuados para otras plantas tropicales.

Ventajas e inconvenientes La principal ventaja de los invernaderos, desde el punto de vista económico, es la obtención de cosechas fuera de la época; además se puede lograr una calidad mejor, y se controlan bien las plagas y las enfermedades. Pero también existen inconvenientes: el cultivo en invernadero se parece poco al que se realiza al aire libre; requiere un tratamiento del suelo (en ocasiones se fabrican suelos artificiales) y un control sanitario muy estricto, ya que las plantas de invernadero, al vivir en ambientes cerrados y artificiales, tienen pocas defensas contra las infecciones de todo tipo. Para preparar un invernadero en condiciones, hay que hacer una gran inversión en material (abonos, semillas, etc.) y en conservación.

Véase **Agricultura; Efecto invernadero; Hidropónicos, cultivos; Plantas**



→ ventanas que permiten una buena ventilación y regulan la humedad y el índice de dióxido de carbono. El sensor que controla todos estos factores se llama *hoja electrónica*.

Hay invernaderos muy bien equipados, que se destinan a cultivos de gran valor económico o científico, como los de jardinería o los de investigación, en cuyo caso se tienen que reproducir determinadas condiciones ambientales con gran fidelidad, debiendo ser total el aislamiento del invernadero del clima exterior. A la izquierda, un tipo de invernadero que sirve para que crezcan en él plántulas que luego se trasplantan al aire libre. Sólo sirve para proteger los brotes de las inclemencias del clima, permitiendo que se desarrollen con rapidez.

A menudo, cuando el clima no es muy severo, en lugar de construir invernaderos —muy costosos y que tienen que disponer de una instalación de irrigación y otra de calefacción— se colocan simples cubiertas sobre las hileras de los cultivos. Pueden estar hechas con arcos de madera o plástico clavados en la tierra y cubiertos de un plástico ligero. Más tarde, cuando el clima ya no es tan duro al ir avanzando la buena estación, y cuando las plantas han crecido lo suficiente para resistir las inclemencias del tiempo, se suelen quitar.



Invertebrados

En general se suele tener una idea desproporcionada del mundo animal, pues se tiende a pensar en primer lugar en aquellos animales más cercanos a nosotros y que más nos llaman la atención: los animales domésticos y el ganado, o bien los animales superiores que pueblan los diversos ecosistemas del mundo (peces, reptiles, anfibios, aves y mamíferos). Sin embargo, estos animales superiores, los Vertebrados (provistos de vértebras), sólo constituyen una pequeña minoría dentro del reino animal, mientras que los Invertebrados (desprovistos de vértebras) representan más del 90% de las especies animales de nuestro planeta; los Insectos forman el grupo de Invertebrados más abundante en número de especies. El estudio de los Invertebrados suministra una información indispensable para la comprensión del proceso evolutivo y del origen de los Vertebrados, incluida la especie humana.

Los científicos han estudiado los Invertebrados durante siglos y han demostrado que con frecuencia estos animales desarrollan variaciones —como respuesta a las condiciones ambientales— y mutaciones evolutivas más rápidas que los Vertebrados. Los estudios acerca de las adaptaciones de los Invertebrados al medio tuvieron un destacado papel en la teoría evolutiva formulada por Darwin.

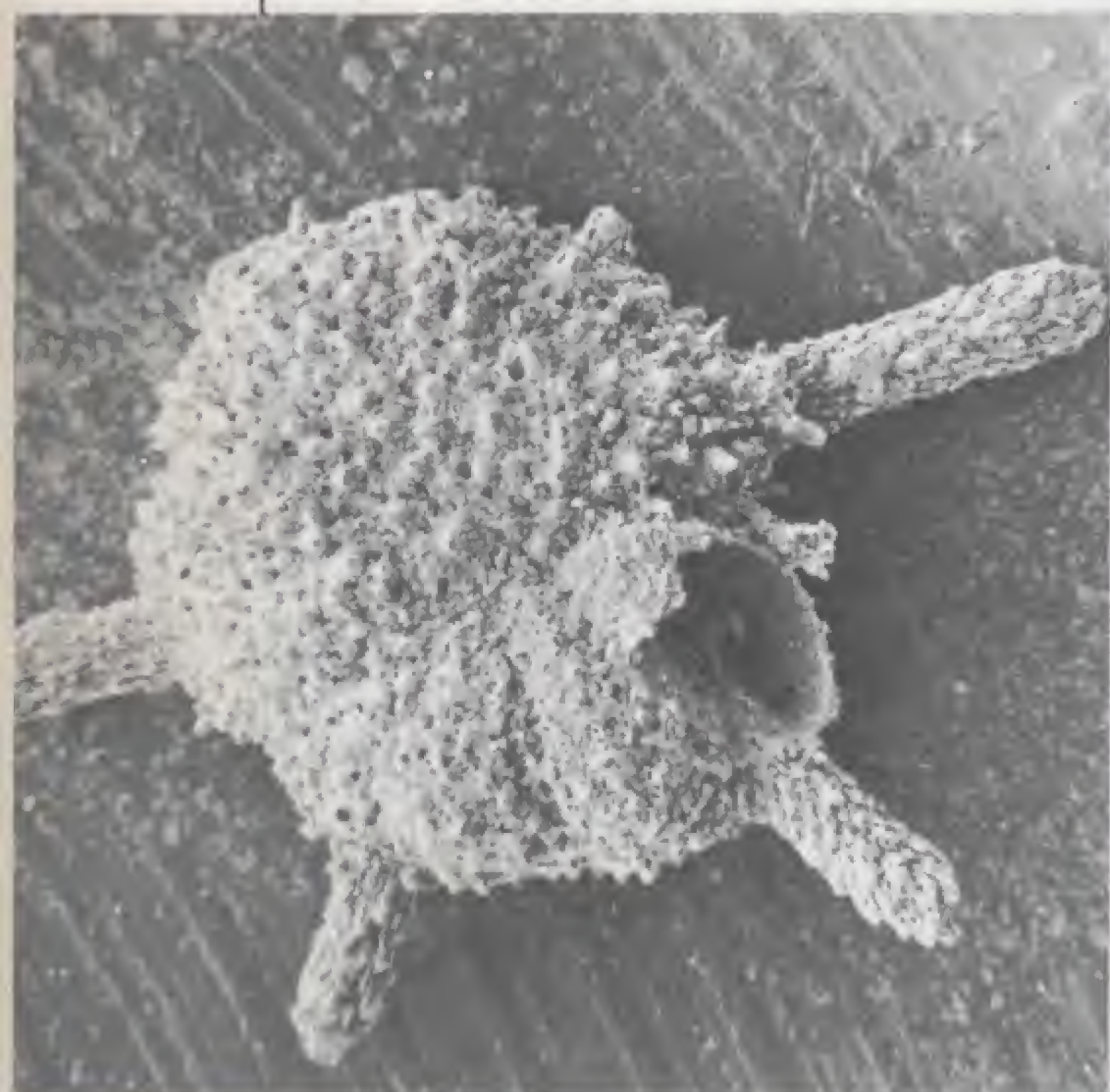
Grados de complejidad Dentro de la característica común de no tener vértebras, cada *filum* (tipo) de Invertebrados se diferencia de los demás en muchos aspectos, y se pueden ordenar por su grado de

complejidad, comenzando por los más sencillos. Estos son los *Protozoos*, animales unicelulares (formados por una sola célula) que abundan tanto en el medio marino como en el terrestre; con frecuencia son parásitos de organismos superiores. El grado siguiente corresponde a las *esponjas*, que ya son pluricelulares (*Metazoos*), pero con tejidos incipientes y sin órganos diferenciados; las esponjas tienen la superficie porosa y viven sésiles en los fondos, principalmente en los marinos. La esponja común, que se suele emplear como accesorio de baño, no es más que el esqueleto del animal, la estructura que lo protege y sostiene (la parte viva se deshidrata y descompone después de haberla sacado del mar, y sólo queda la parte dura y porosa, que puede absorber gran cantidad de agua).

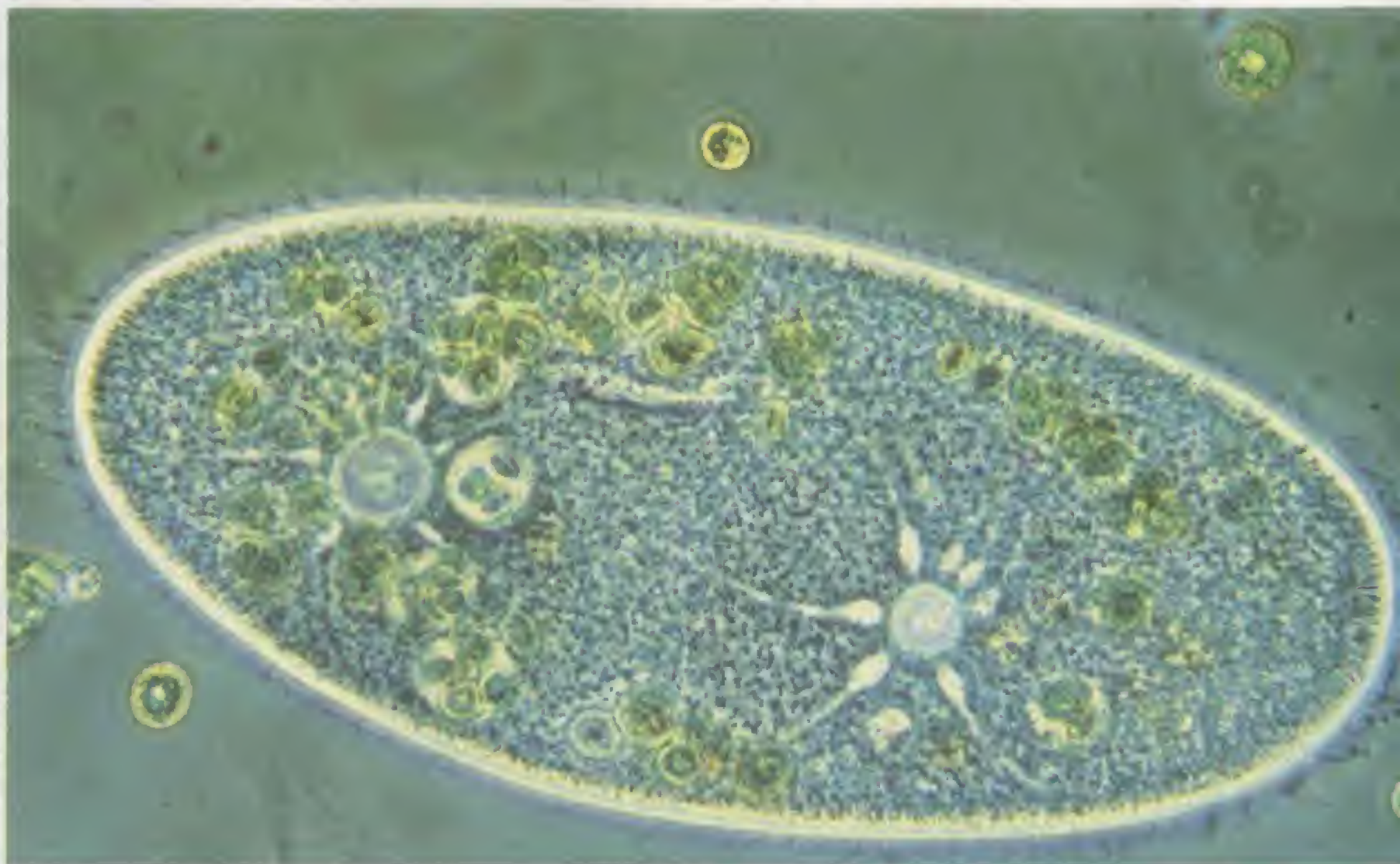
El siguiente paso evolutivo en los Invertebrados es la aparición de tejidos, y corresponde a los *Celentéreos* (Cnidarios y Ctenóforos). Estos animales están formados por una capa externa (*ectodermo*) de células cuya función es protectora y de captura de alimentos, y una capa interna digestiva (*endodermo* o *gastrodermis*); entre ambas capas celulares aparece una sustancia gelatinosa llamada *mesoglea*. Entre los Cnidarios hay animales muy conocidos, como las medusas, las hidras y los corales o madréporas, que capturan el alimento con la ayuda de células urticantes especializadas (*cnidocistos*), situadas fundamentalmente en los tentáculos que rodean la boca. El alimento pasa de la boca a una cavidad interna, o *celenterón*, revestida de *gastrodermis*; una vez dige-

rado por células especializadas, los productos resultantes son distribuidos por el resto del cuerpo, lo que demuestra que aun en los animales más simples existen estructuras especializadas para las distintas funciones. Igualmente, estos organismos de organización sencilla han sido capaces de generar una de las mayores formaciones de origen biológico de nuestro planeta: los arrecifes coralinos, originados por el acúmulo de carbonato cálcico en los esqueletos de corales tropicales. El arrecife más extenso se encuentra bordeando la costa septentrional australiana y alcanza más de 2.000 km de largo y, en algunos tramos, más de 80 de ancho.

Los gusanos planos, o *Platelmintos*, se sitúan en el siguiente escalón de la clasificación de los Invertebrados. En ellos ya aparece una tercera capa celular, el *mesodermo*, del cual se derivan órganos y tejidos importantes —como el nervioso— que suponen un gran avance evolutivo. Estamos ante el gran grupo de los *Invertebrados triblásticos* (con tres capas celulares). Estos gusanos y las formas siguientes en el desarrollo evolutivo de los Invertebrados poseen ya un sistema nervioso bastante elaborado, con ganglios nerviosos cuya función casi se puede comparar con la de un cerebro, pues coordinan el movimiento del animal por medio de uno o varios pares de nervios que corren por ambos lados del cuerpo e irradian fibras nerviosas a músculos y órganos de los sentidos; éstos experimentan un desarrollo similar. El largo y simétrico cuerpo de los gusanos planos significa también un paso adelante en la evolución de la es-



Beanner-Subdepartment of Oceanography, University College of Swansea



En la página siguiente, tabla de la evolución de los Invertebrados. Su origen común se remonta al caldo primordial, en el que la aparición de los primeros Protozoos condujo al desarrollo de las ramas evolutivas que han

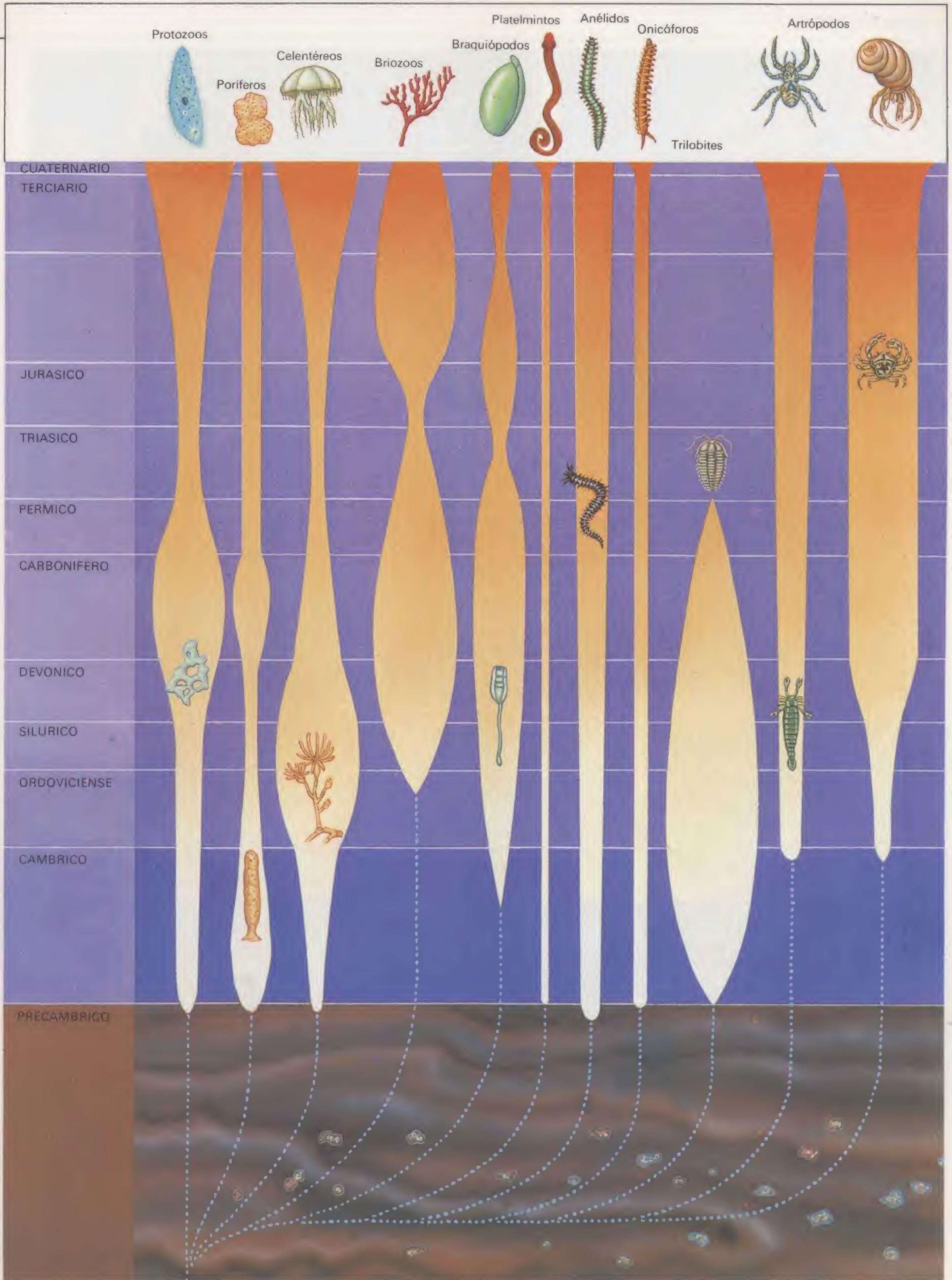
llegado hasta nuestros días. Los Protozoos, organismos unicelulares, libres y capaces de reproducirse, dieron origen a los Metazoos, individuos pluricelulares; ésta fue una etapa fundamental en la evolución.

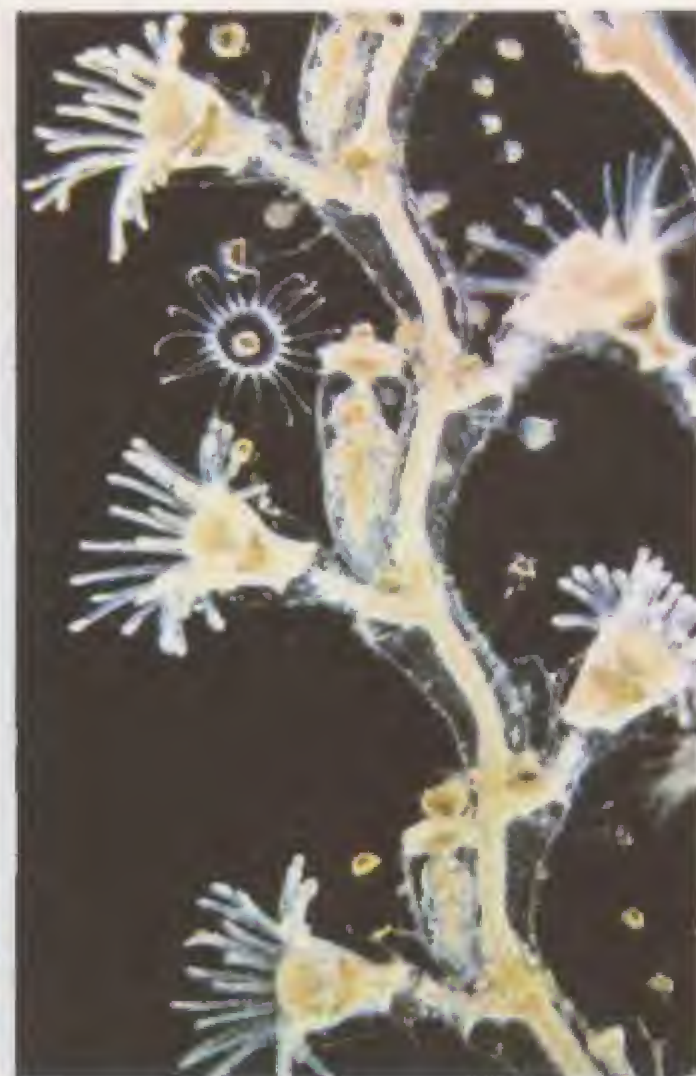
Al principio las células miembro de una colonia pudieron mantener su individualidad renunciando en buena parte a su libertad, como en el caso de las esponjas; o bien renunciaron a su individualidad para

conseguir una colaboración completa, dando origen a un endodermo y un ectodermo y a una cavidad central digestiva, comunicada con una boca. Estas son las principales características de los Celentéreos. El paso

siguiente fue la formación del mesodermo y de una cavidad corporal, el celoma. Parece ser que la transición tuvo lugar de un organismo pelágico a uno bentónico. El cambio físico fue de una forma más o menos esférica

a una simétrica bilateral. Llegados a este punto, se puede decir que se habían realizado todas las "grandes fases" de la evolución. Arriba, dos Protozoos: a la izquierda, *Calcarina splengeri*, y a la derecha, *Paramecium*.





Fotos: D. P. Wilson

El esqueleto de las esponjas (Poríferos) tiene un notable interés sistemático, ya que, tratándose de organismos de forma poco definida y variable, constituye el carácter principal a la hora de identificar la especie. Además, ha permitido reconstruir la historia de este grupo gracias a la gran cantidad de series de fósiles encontradas. Las esponjas más comunes de la clase *Demospongiae*, como la *Spongia officinalis* (arriba, izquierda), tienen el esqueleto formado por fibras silíceas entrelazadas cubiertas de esponjina, una sustancia córnea típica de esta especie. Abajo, esqueleto de una *Hexactinélida*, esponja de la zona abisal del género *Euplectella*.

Arriba, colonias de *Obelia*, con su típico aspecto arborescente; estos Celentéreos del grupo de los Hidroideos fueron confundidos al principio con pequeñas plantas de ramas floridas. La mayor parte de los Celentéreos son marinos. Se encuentran en todos los mares, aunque abundan sobre todo en los tropicales. Las formas polipoides, en general, viven a poca profundidad sobre el fondo, mientras que las formas medusoides flotan o nadan bajo la superficie. Entre las asociaciones que forman, se puede destacar una bien conocida, la que se da entre las actinias y los cangrejos ermitaños. Los Celentéreos son carnívoros y se nutren de presas vivas.

estructura corporal. Cada una de las mitades del cuerpo es perfectamente simétrica de la otra, y esta característica, denominada *simetría bilateral*, aparece en la mayor parte de los animales superiores, incluido el hombre.

Los *Moluscos* constituyen un filum de elevado número de especies, que comprende animales como las ostras, los mejillones, los caracoles, los pulpos y los calamares. Muchos de ellos segregan una concha calcárea, dentro de la que vive el animal. Una de las características anatómicas más importantes de los Moluscos es la presencia del *manto*, una gruesa masa carnosa que contiene los órganos internos, como las branquias (donde tiene lugar el intercambio de oxígeno por dióxido de carbono), el corazón y los órganos sexuales. Además, el manto segrega hacia afuera la sustancia que sirve para formar la concha. El pulpo, el calamar y la sepia son moluscos *Cefalópodos* (con los pies o tentáculos en la cabeza) cuyos mantos carecen de conchas protectoras externas.

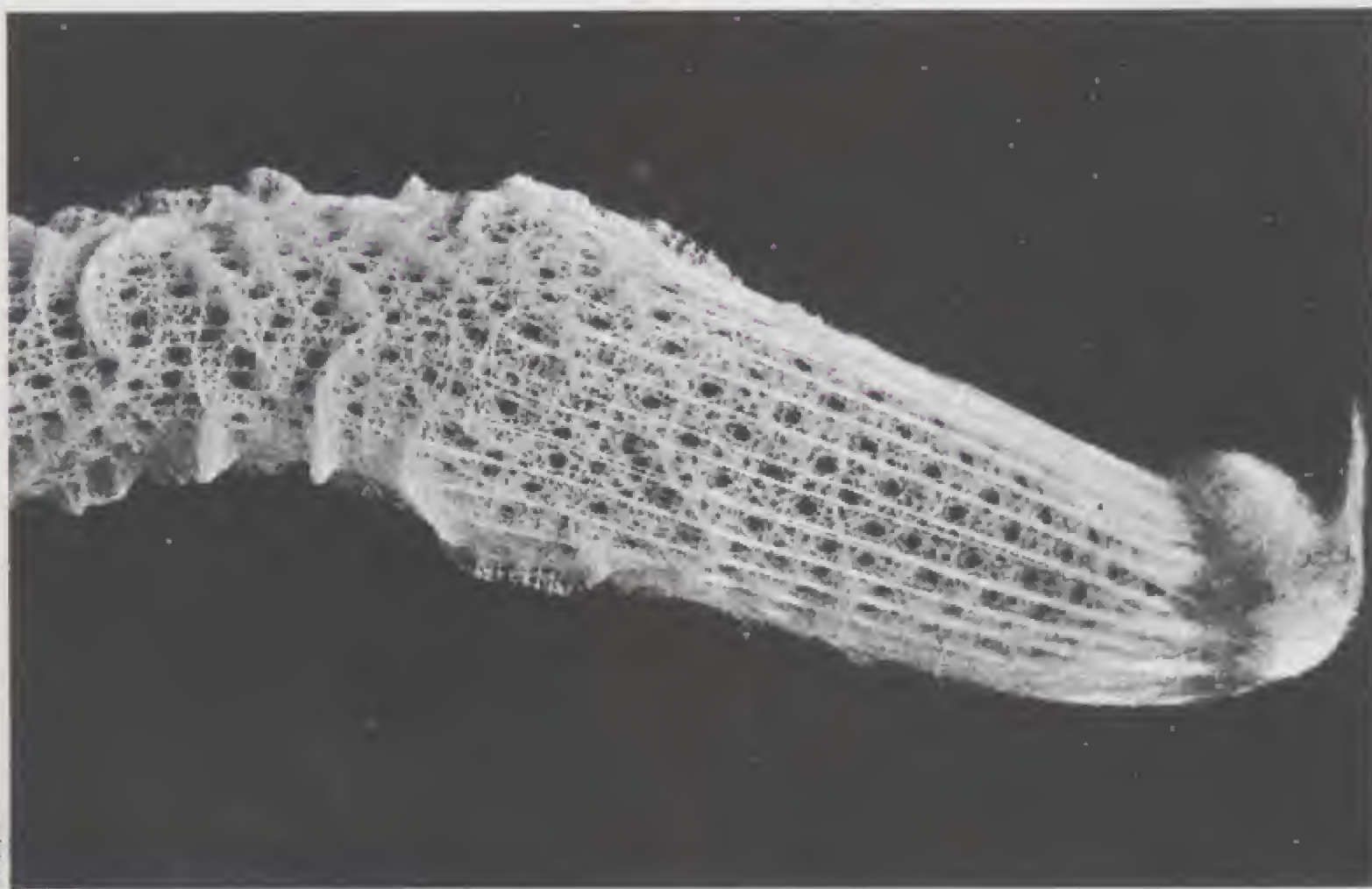
Estos animales han desarrollado un sistema nervioso muy evolucionado, así como los órganos de los sentidos: el ojo, por ejemplo, es casi tan perfecto como el de los Vertebrados. También han desarrollado mecanismos de camuflaje, como la expulsión de tinta o la facilidad para acomodar su color al del ambiente que los rodea.

Los *Anélidos* (lombrices de tierra, poliquetos y sanguijuelas) constituyen otro grupo de Invertebrados de estructura compleja y con abundante número de especies. Su principal característica es la de tener el cuerpo alargado, totalmente segmentado y dividido en anillos.

En los Anélidos, y concretamente en los *Poliquetos* (anélidos marinos), entronca evolutivamente el filum más numeroso de los Invertebrados, los *Artrópodos*, al que pertenecen los *Insectos*, los *Crustáceos* (langostas, camarones, gambas, cangrejos de río, etc.) y los *Arácnidos*, como las arañas y los ácaros. Todos los miembros de este grupo poseen un revestimiento externo duro llamado *exoesqueleto*. Además, los Artrópodos poseen patas articuladas, que aumentan su capacidad de movimiento y su velocidad.

A diferencia del endoesqueleto de los Vertebrados, el exoesqueleto de los Artrópodos no crece gradualmente, sino que tiene que mudarse periódicamente para que crezca el cuerpo, y luego vuelve a formarse el nuevo.

Los Insectos son los animales que han demostrado una mayor capacidad de adaptación a los distintos ambientes terrestres. A ello han contribuido las características que hemos mencionado anteriormente, además de que poseen un sistema nervioso complejo y una excelente coordinación muscular. El número de insectos que hay en el planeta es enorme —un millón de billones—, así como la variedad de especies —unas 800.000—. Podemos decir que los Insectos constituyen la forma de vida que predomina sobre la Tierra.



Bracchi



En la fotografía que aparece a la izquierda de estas líneas puede verse un *Asterias rubens*, asteroideo perteneciente al *filum* de los Equinodermos, animales marinos que constituyen uno de los grupos mejor caracterizados del

Reino Animal. Aunque en apariencia son muy diferentes unos de otros, los Equinodermos tienen una organización similar y unas características comunes: simetría pentarradial, esqueleto externo y aparato acuífero.



Macro-Espres, Bergamo

Sobre estas líneas, en la foto que hay a la derecha, ejemplar perteneciente a los Uropigios, unos Arácnidos exóticos que se caracterizan por carecer de posabdomen y por tener grandes pedipalpos para

capturar a sus presas. En la fotografía de abajo, un grupo de ácaros Oribátidos, frecuentes en el mantillo, musgos y en general en todos los ambientes húmedos a cualquier altitud. Los Artrópodos (a los que pertenecen los

ejemplares citados) constituyen el grupo de animales más numeroso en cuanto a especies se refiere. Desde los tiempos geológicos más remotos, este grupo de animales ha logrado extenderse y conquistar el mundo

más que cualquier otro: todo tipo de ambientes que permitan, aunque sea en un grado mínimo, la existencia de vida han sido poblados y condicionados por los Artrópodos. En este sentido, son "dueños" de la Tierra.

Se han hecho muchas hipótesis acerca de la relación entre Invertebrados y Vertebrados en la cadena evolutiva, buscando encontrar en aquéllos las raíces u orígenes de éstos. Los Invertebrados que parecen más evolucionados son unos organismos marinos que reciben los nombres de *Tunicados* o *Urocordados* y *Cefalocordados*, debido a que presentan, al menos en algunos estadios de su desarrollo, una estructura de sostén llamada *cuerda dorsal* o *notorcordio*; ésta aparece también en los estados embrionarios de los Vertebrados, aunque luego es sustituida por la columna vertebral.

Debido a ello, los Urocordados, los Cefalocordados y los Vertebrados se clasifican juntos en un mismo *filum*, el de los Cordados. Muchos biólogos consideran que los mencionados organismos son los probables estadios evolutivos que precedieron a los Vertebrados, pero otros piensan que son sólo ramas colaterales de la línea evolutiva que condujo a la formación de éstos.

Véase Animal; Artrópodos; Cordados; Crustáceos; Equinodermos; Evolución animal; Insectos; Moluscos; Protozoos; Vertebrados



Investigación médica

Siempre se ha tratado de curar las enfermedades, incluso en la Antigüedad, cuando con frecuencia eran consideradas como un castigo de la divinidad. La búsqueda de una hierba, un aceite u otro remedio para los distintos padecimientos constituía una especie de investigación médica primitiva, cuyos resultados a veces podían parecer milagrosos.

La investigación médica de nuestros días no se dedica solamente a la búsqueda de los remedios, sino que se ocupa también del estudio de las causas de las enfermedades. Además, se trabaja con la finalidad de descubrir el funcionamiento del organismo humano y el modo en que otros organismos influyen sobre el mismo.

Los investigadores expertos tienen que ser capaces de analizar problemas médicos específicos; deben posteriormente elegir métodos eficaces para verificar en el laboratorio las hipótesis formuladas, así como analizar un problema en sus componentes esenciales y sintetizar sus hallazgos en estudios de investigación.

La investigación médica se divide en dos tipos: *fundamental* y *aplicada*. La mayor parte de la investigación médica es aplicada, es decir, las informaciones procedentes de los descubrimientos de la Fí-

sica, la Química y la Biología se aplican al diagnóstico y al tratamiento de una enfermedad, así como a su prevención.

En el desarrollo del trabajo de investigación se siguen ciertas fases lógicas, de manera que pueda indagarse con rigor sobre el fundamento de las hipótesis y que resulte factible presentar los resultados con una perspectiva biológica.

Los investigadores alcanzan esos objetivos utilizando disciplinas científicas básicas: Química, Física y Matemáticas. La Física y la Química se hacen una sola ciencia desde el momento en que la Química se eleva sobre el análisis de sustancias particulares para analizar los procesos vitales. Junto al químico, el físico trata de comprender las propiedades de la materia orgánica en términos de composición atómica, reacciones electroquímicas y estructuras de las macromoléculas. Los instrumentos derivados de la investigación sobre la energía atómica han influido de forma notable en la tecnología de la investigación biológica y médica y han modificado nuestros conceptos sobre la naturaleza de la materia.

Siendo en la actualidad las Matemáticas el lenguaje científico universal, los investigadores utilizan una estructura matemá-

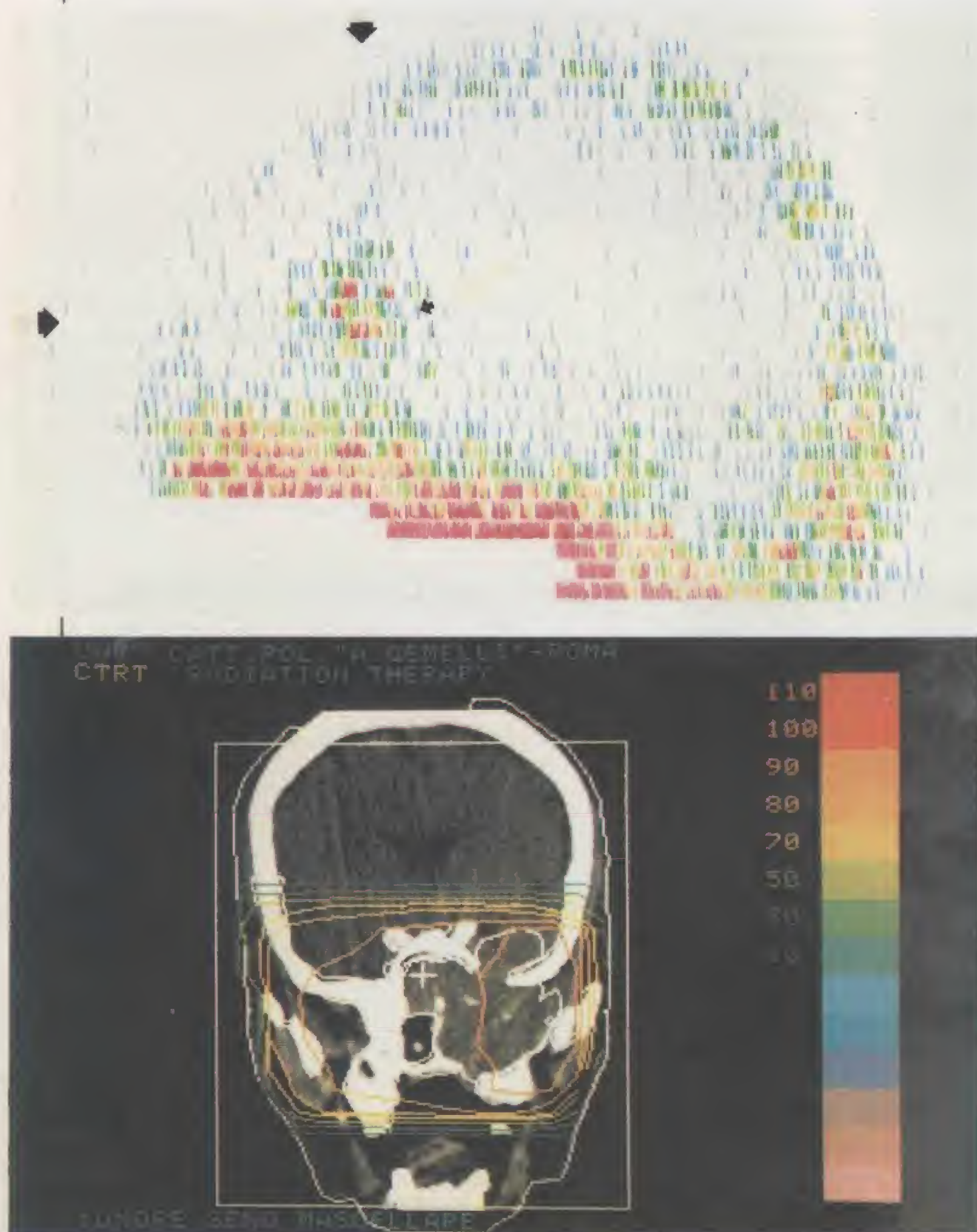
tica esencial para reducir los distintos fenómenos biológicos a principios matemáticos generales.

Instrumentos de la moderna investigación médica Los recientes progresos de la Electrónica, especialmente en la tecnología de los ordenadores, han determinado una auténtica revolución en Medicina y en la investigación en general.

Los microordenadores resultan poco potentes dado el volumen de información médica y biológica que es preciso procesar en muchas investigaciones. No obstante, son utilísimos para el control de varios tipos de aparatos (por ejemplo, los instrumentos de reanimación y los llamados *corazones artificiales*). Pero, en general, se necesitan ordenadores con potentes unidades centrales de proceso, capaces de analizar rápidamente largas y complicadas series de datos.

Los ordenadores y las máquinas de los genes, además de analizar muestras y de crear compuestos, ofrecen la posibilidad de crear genes artificialmente.

En el año 1895, el físico alemán William Roentgen descubrió los rayos X, mientras llevaba a cabo investigaciones físicas. Este descubrimiento accidental se consi-



Un aspecto extremadamente importante en el campo de la investigación médica es el concerniente a la evolución de los medios de experimentación, los cuales han permitido a la Medicina, junto con la evolución en la producción de fármacos siempre más adecuados, alcanzar un importante progreso cualitativo. Los progresos en los métodos de investigación permiten a la Medicina desarrollarse siempre con mayor amplitud y mayor precisión en el campo de la Medicina preventiva, rama de la Medicina que se ocupa de obtener una mejoría esencial no sólo en el campo médico, sino también en el de la calidad de vida. Por otra parte, la investigación médica está en la base de las nuevas investigaciones que se encaminan a

conseguir diagnósticos mucho más precisos con métodos no invasivos e incruentos, no ligados a la introducción de medios que puedan revelarse perjudiciales o a la ejecución de exploraciones llevadas a cabo con técnicas quirúrgicas. Estos métodos no invasivos se muestran particularmente útiles para el diagnóstico de enfermedades infantiles, en las que el organismo todavía débil del niño podría presentar reacciones no previsibles. Juntamente con las técnicas diagnósticas, otro gran desarrollo de la investigación médica concierne a los equipamientos de dimensiones extremadamente reducidas, que se han implantado cada vez con mayor frecuencia en el interior del cuerpo y que permiten al mismo una actividad siempre más constante y regular.

dera la mayor contribución individual de todos los tiempos a la Medicina diagnóstica. Muchos años después, a raíz de las investigaciones de la Física nuclear, se consiguió un pequeño aparato portátil para radiografías, capaz de llevar a cabo casi todas las funciones de los voluminosos y delicados aparatos fijos para realización de radiografías.

El microscopio compuesto, que hizo posible investigaciones innovadoras —como los estudios de Rudolf Virchow sobre las células y los de Pasteur sobre los microorganismos—, fue realizado en el siglo XIX. Con el microscopio electrónico (capaz de producir hasta 100.000 aumentos) es posible estudiar la estructura de los cromosomas y el crecimiento de los virus en su ambiente celular, individualizar la morfología (tamaño, forma, estructura) de la célula bacteriana y "ver" las moléculas más grandes que constituyen las unidades básicas de la Bioquímica.

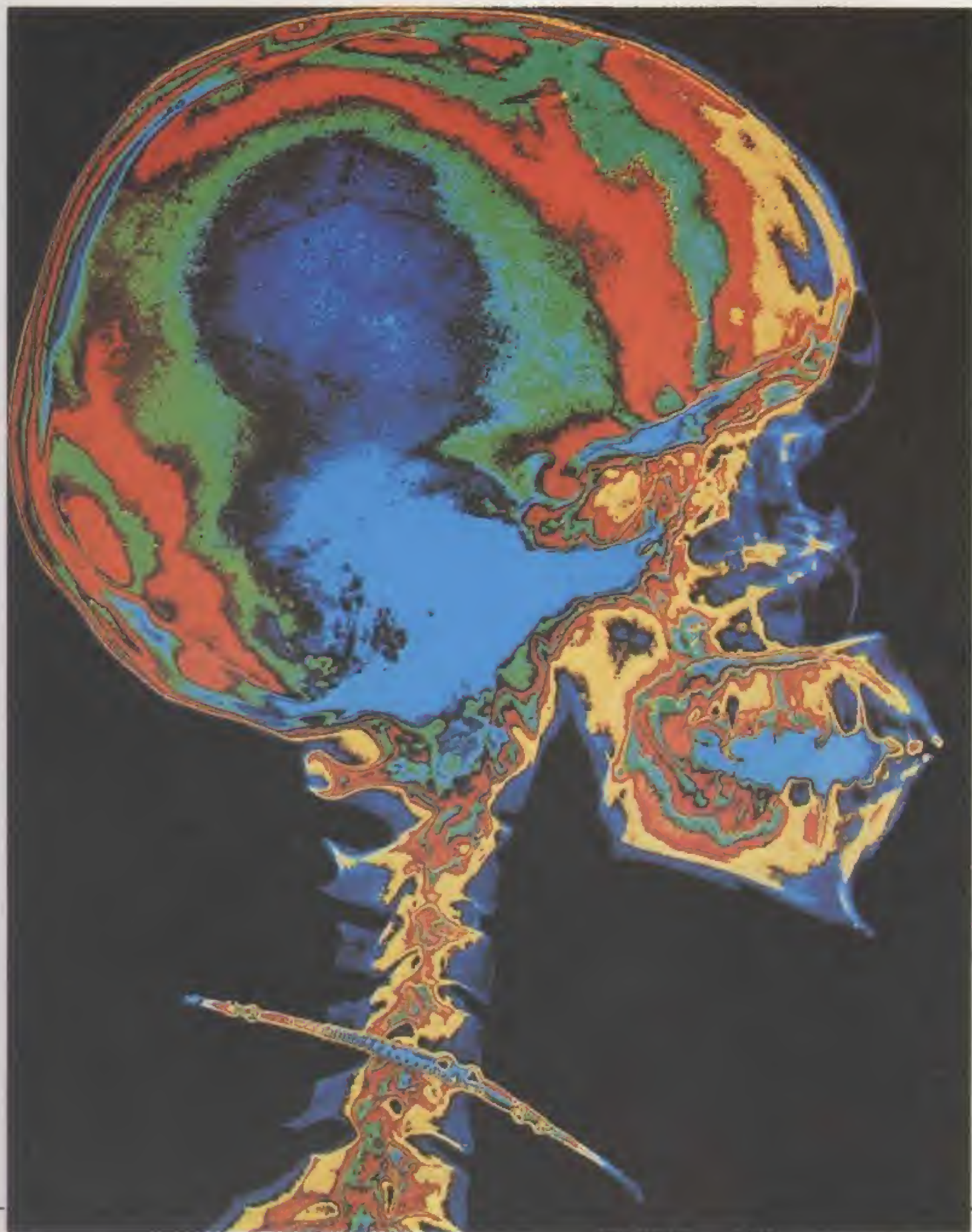
Utilizado para el examen tanto de tejidos animales como vegetales, el microscopio de luz ultravioleta permite la observación de estructuras muy pequeñas en las regiones del espectro a las que el ojo humano no es sensible. El microscopio acoplado a un vídeo es muy útil como ins-

trumento didáctico, dado que permite, por ejemplo, hacer observar con precisión una muestra a muchos investigadores o alumnos al mismo tiempo.

Los distintos tipos de espectroscopios (incluidos los espectroscopios de rayos ultravioleta, infrarrojos y el espectroscopio de resonancia magnética nuclear, NMR) contienen prismas que refractan la luz (un sistema que hace paralelos los rayos) y un "telescopio" que amplía el espectro. Con tales espectroscopios es posible la detección de la presencia de elementos químicos ocultos.

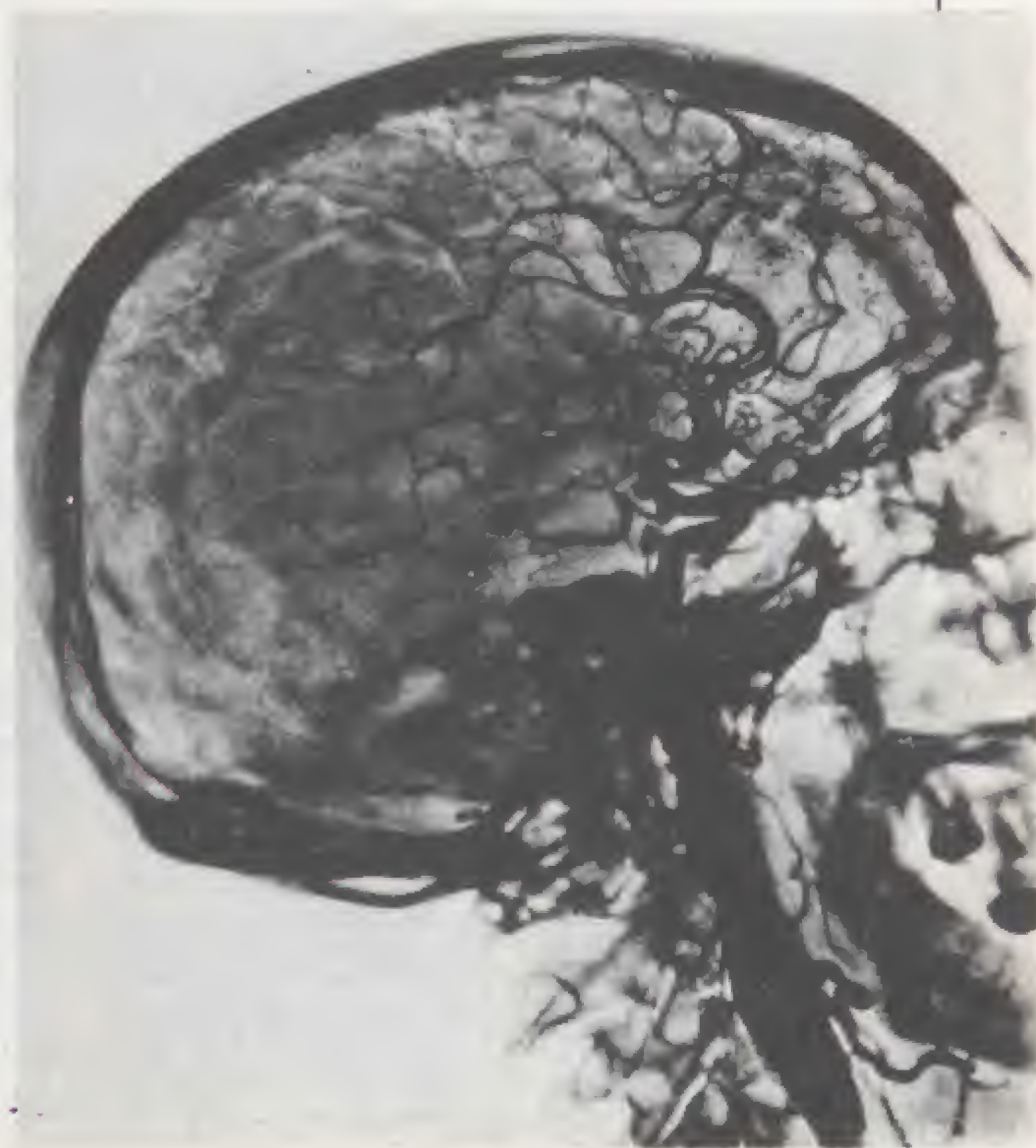
La cromatología es una técnica para la separación de moléculas íntimamente unidas, que utilizan físicos y químicos para el estudio de las proteínas y de los productos complejos de las células.

Los instrumentos productores de ultrasonidos se utilizan actualmente para medir la presión sanguínea y la velocidad de la sangre y para descubrir determinadas lesiones; se usan también para el estudio del desarrollo fetal y del funcionamiento cardíaco. Más recientemente, la *ultrasonografía en la escala de los grises* ha llevado al descubrimiento de lesiones de menos de 1 milímetro de diámetro. Y los avances en este campo continúan asombrando.



En esta página y en la anterior se muestran algunos ejemplos de diagnóstico precoz, hoy en día muy desarrollado, sobre todo en el campo de la terapia de los tumores y de las enfermedades cardiovasculares. Las posibilidades de un diagnóstico a tiempo, particularmente en estos campos de la patología, hacen posible, en efecto, salvar un mayor número de vidas humanas y permiten a los pacientes gozar

de una vida normal. En la página anterior, arriba, gammagrafía cerebral; abajo, tomografía; a la derecha, xerorradiografía. En esta página, a la izquierda, imagen termográfica; abajo, radiografía efectuada con los métodos tradicionales. El conjunto de estos métodos ayuda al médico en la difícil tarea del diagnóstico, proporcionándole mayores posibilidades de evitar errores.



Los isótopos radiactivos de elementos comunes como el carbono se han mostrado muy útiles en algunos campos de la investigación médica. Los isótopos radiactivos también pueden ser creados artificialmente: son isótopos inestables que decaen a un estado estable emitiendo unas radiaciones determinadas. Estos isótopos han permitido observar con extrema precisión los procesos del organismo humano durante su desarrollo, evitando así la necesidad del sacrificio de plantas o de animales vivos durante la investigación.

Los isótopos son importantes sobre todo en el estudio de la naturaleza de las células cancerosas, para la determinación de las modalidades por las que una célula alterada se disemina a otras regiones del organismo y se implanta entre las células normales. Biólogos, patólogos y fisiólogos han empleado los isótopos para estudiar el crecimiento celular de plantas y animales.

Instituciones de investigación La investigación médica se desarrolló lentamente durante el siglo XIX, principalmente como ocupación a tiempo parcial de los profesores universitarios; pero ha llegado a ser una ocupación con dedicación plena tras la constitución en muchos países de instituciones de investigación, tanto públicas como privadas. Las necesidades de fondos y de dotación han limitado el número de las instituciones de investigación bien equipadas para acometer investigaciones "de punta".

Muchas instituciones, además de desarrollar una función de investigación propiamente dicha, preparan a personal especializado para la enseñanza y la investigación en las universidades, facultades de Medicina y laboratorios estatales, en particular en los campos de la Bacteriología y de la Virología.

Actualmente, el sector de la investigación médica que dispone de mayor atención y de más medios de financiación es el que se ocupa del cáncer.

Entre los sectores en desarrollo a los que se dedica un interés creciente encontramos la Genética y los estudios sobre trasplante de órganos.

Investigación sobre el cáncer La investigación sobre el cáncer (Oncología experimental) tuvo sus inicios hace aproximadamente cien años, y hoy constituye uno de los principales campos de la investigación médica. Se ha desarrollado sobre todos los aspectos relativos al cáncer: nacimiento, crecimiento, envejecimiento, enfermedad y muerte de las células.

Se trata de responder a preguntas tales como: ¿qué es un virus?, ¿cómo transmite una célula su estructura a sus descendientes?, ¿por qué algunas células son atacables por el cáncer y otras no?, ¿cómo intervienen las hormonas en el proceso del crecimiento?, ¿cómo funcionan las reacciones de control químico de la célula?, ¿por qué las células tumorales permane-

cen aparentemente latentes en el cuerpo humano durante años, antes de atacar de improviso un órgano vital?

Los distintos sectores de la investigación sobre el cáncer se concentran en las diferencias entre las células normales y las células malignas. La inmunoterapia, la radioterapia y la quimioterapia son tres de los sectores más prometedores de esta investigación.

Los epidemiólogos continúan demostrando una correlación entre el desarrollo de los tumores y la exposición a sustancias químicas. David Baltimore, premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1975, sostiene que el incremento de la incidencia de los tumores en nuestra sociedad refleja los cambios ambientales habidos en la última mitad del siglo.

En los últimos años, los mayores progresos en la investigación sobre el cáncer son los concernientes a los tratamientos quirúrgicos, radiológicos y, finalmente, quimioterápicos.

Genética A través de la investigación médica, el hombre moderno favorece la supervivencia de genes que habrían tenido una existencia limitada hasta hace pocos siglos. La investigación ha permitido individualizar más de mil enfermedades originadas por defectos genéticos.

La investigación genética actual utiliza elaborados análisis matemáticos para determinar los posibles cambios evolutivos determinados por la mutación genética (cambios originados por la reorganización intramolecular de los materiales constituyentes del gen).

Del mismo modo que enfermedades como la diabetes pueden ser tratadas con productos artificiales (insulina), la investigación genética ha permitido la curación de enfermedades congénitas, como la fenilcetonuria, tratada por medio de un particular régimen dietético.

Trasplantes Fruto de la investigación sobre los trasplantes es la posibilidad de sustituir los vasos sanguíneos lesionados con arterias de Dacron, elásticas, sin suturas y casi indestructibles, suplir huesos y articulaciones, reemplazar totalmente la cadera y aplicar marcapasos eléctricos al corazón.

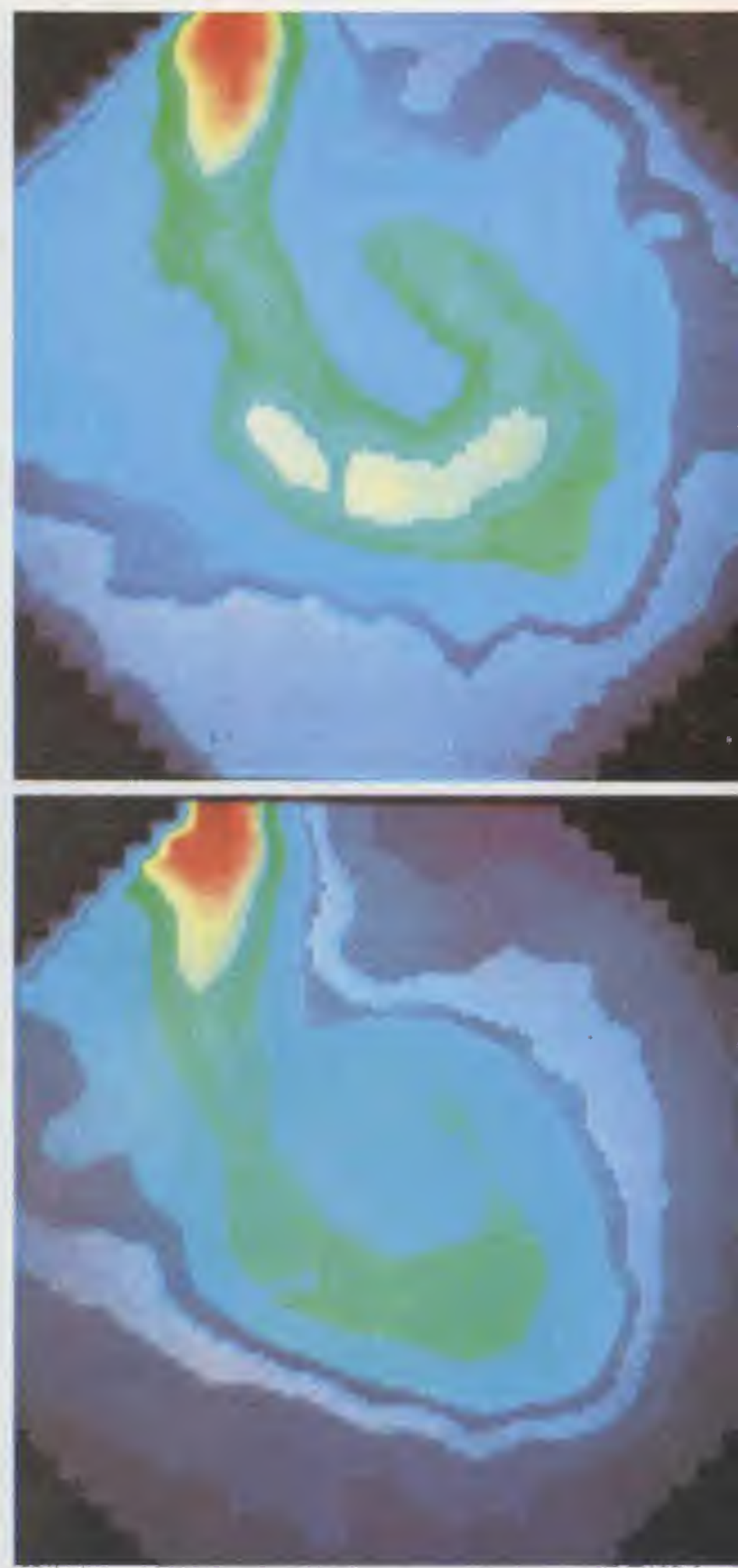
Piernas artificiales existen desde el año 600 a. de C., y manos de metal se construyeron y utilizaron por vez primera en el siglo XVI. Los especialistas en cirugía oftálmica están poniendo a punto en la actualidad ojos artificiales, similares a pequeñas telecámaras insertadas en la cavidad ocular, que transmiten señales directamente a la corteza cerebral, permitiendo así una visión muy similar —en cuanto a su mecanismo— a la natural.

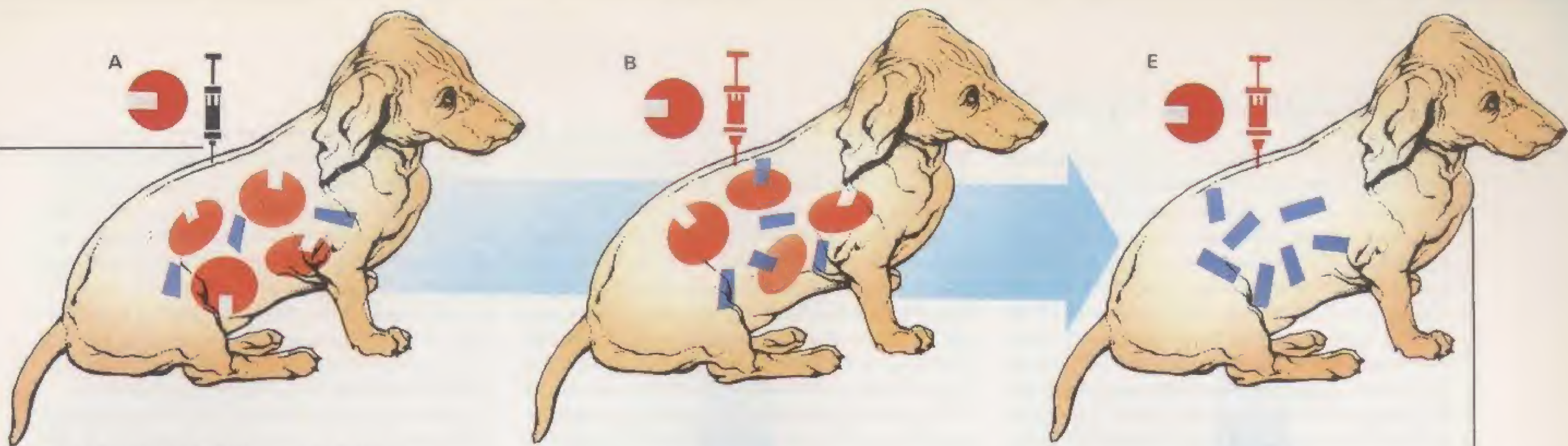
Actualmente se está investigando también en sistemas de unión directa de los miembros artificiales al sistema nervioso, que permitan a los pacientes que hayan sufrido una amputación mantener el control de sus propios movimientos simplemente con un acto de voluntad. Estos apa-

ratos funcionan a través de biopotenciales (impulsos eléctricos generados por las células).

El primer riñón artificial fue realizado por el cirujano holandés William J. Koff durante la II Guerra Mundial. Los trasplantes de riñón de donantes sanos han tenido un éxito aceptable a partir de los años sesenta. El primer trasplante de órganos de animales al hombre fue realizado en el año 1905. En 1968, Christian Barnard realizó el primer trasplante cardíaco humano. En 1982 varios médicos de la Universidad de Utah lograron implantar un corazón artificial en un paciente que sufría una enfermedad cardíaca incurable.

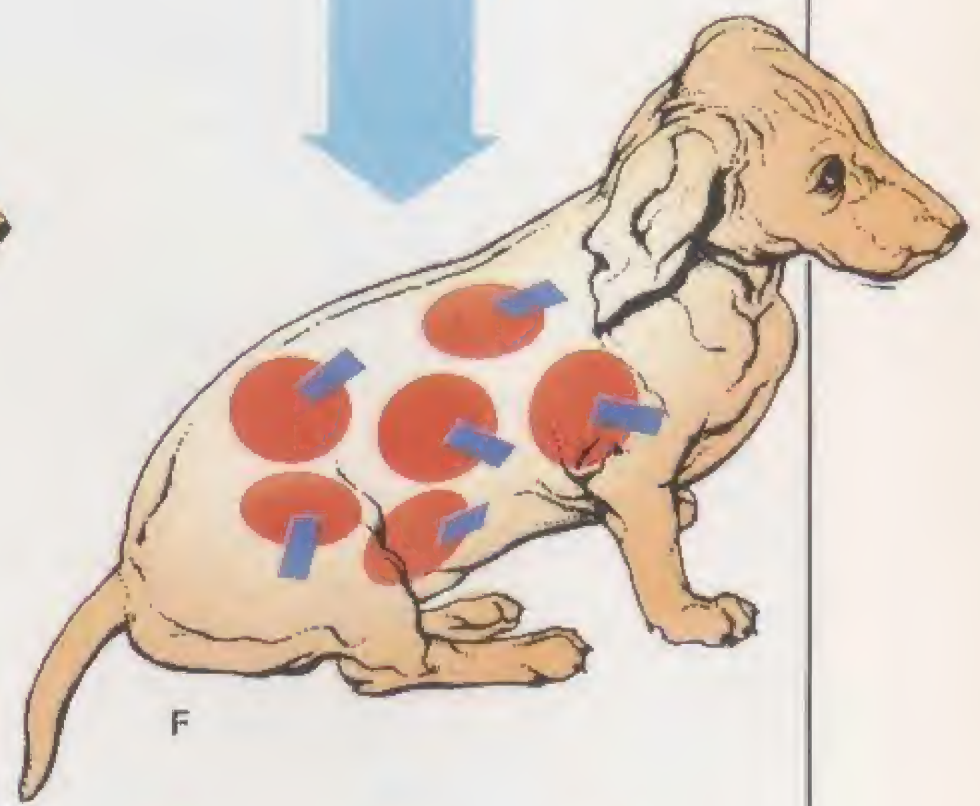
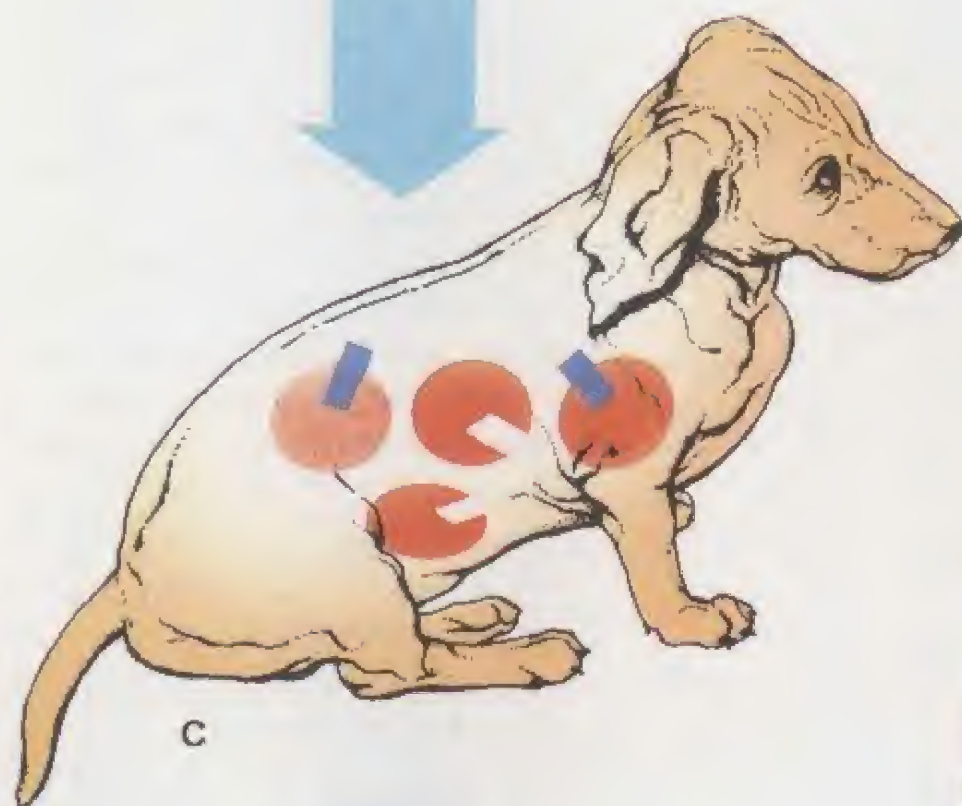
Otro progreso en la investigación sobre los trasplantes fue el trasplante de hígado. Los principales problemas concernientes al trasplante de hígado son los relacionados con la conservación del hígado del donante hasta su implantación en el paciente, y, tras la intervención quirúrgica, el rechazo del hígado trasplantado por parte del sistema inmunológico del paciente, problema este del rechazo que en mayor o menor grado afecta a todos los trasplantes. El doctor Thomas E. Starzl, cirujano del centro sanitario de la Universidad de Pittsburgh, ha llevado a cabo varios centena-





Experimento de Richet para el estudio de la alergia: en A, la inyección de un antígeno provoca la formación de anticuerpos; en B y C, una segunda inyección antes de los 9-21 días bloquea o consume los anticuerpos, consiguiendo la desensibilización del animal; en D, una tercera inyección de antígenos no provoca ninguna reacción de anticuerpos; en E y F, la administración de antígenos tras el periodo de 9-21 días origina la reacción antígeno-anticuerpo, con las graves y

características manifestaciones del *shock* anafiláctico. Los tres dibujos del final a la derecha muestran una clara imagen de los más importantes síntomas de las reacciones alérgicas. La fusión entre los métodos de investigación médica (por ejemplo, los trazados radiactivos) y los métodos de la Informática (miniordenadores, microprocesadores) permite hoy en día la obtención de imágenes dinámicas de los distintos fenómenos, de manera que puedan estudiarse las



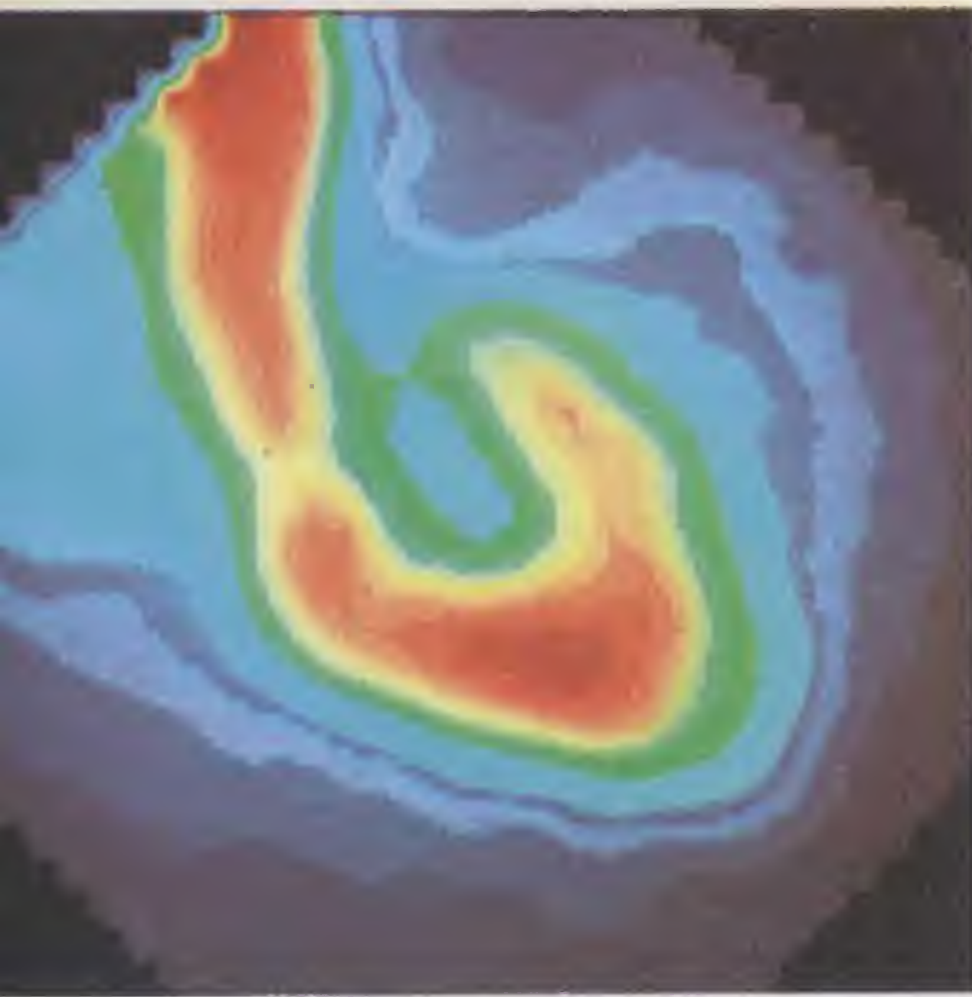
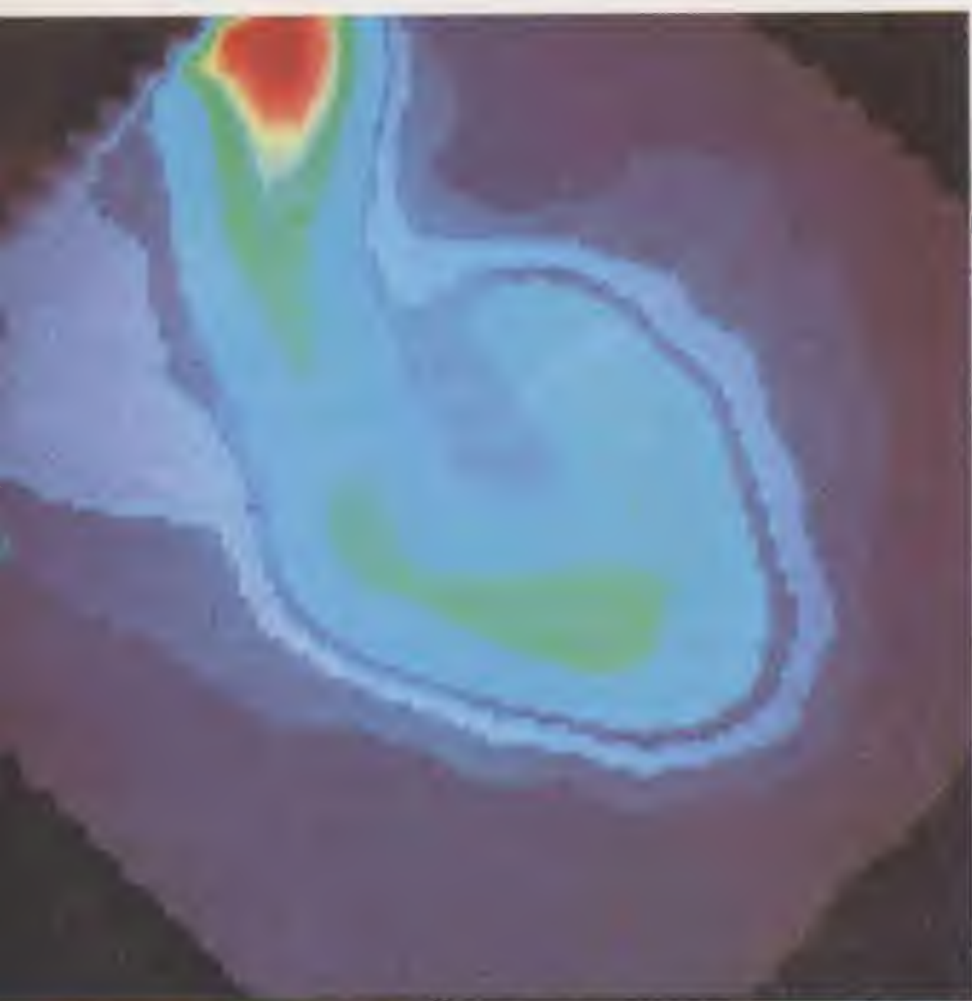
actividades —y no sólo la morfología particular— de un órgano. A la izquierda de estas líneas y en

la página anterior, serie de imágenes funcionales obtenidas en un primer pase de trazadores radiactivos.

Los progresos de la Informática permiten ya una nueva revolución: el diagnóstico computarizado, realizable por teléfono poniéndose en contacto con un centro en el que haya sido memorizado el "historial" del paciente, lo que, junto con los datos que éste aporta sobre los actuales síntomas, permite al ordenador efectuar un diagnóstico inmediato y correcto.

El ordenador se utiliza también hoy día en las universidades para permitir a los estudiantes de Medicina efectuar diagnósticos sin hacer correr ningún riesgo inútil a los pacientes, evitándoles además las molestias derivadas de servir de "material docente".

Véase Cáncer; Espectroscopia; Genética; Hospital; Medicina; Medicina preventiva; Microscopio; Organos, banco de; Organos artificiales; Radiología; Trasplante de órganos



res de trasplantes de hígado, aparte de haber descubierto varios fármacos que han incrementado las posibilidades de éxito en esos trasplantes. Hoy en día, cuatro de cada cinco pacientes sometidos al trasplante hepático sobreviven.

Actualmente existen pulmones artificiales externos, que permiten a los médicos efectuar trasplantes de pulmón sin tener necesidad de efectuar simultáneamente un trasplante de corazón.

Aunque todavía en fase de proyecto, el páncreas artificial podrá en un futuro controlar automáticamente los niveles de insulina en el cuerpo humano.

Investigación operativa

Casi todo el mundo sabe que en las grandes empresas industriales o de servicios —sean del sector privado o del público— y en los centros de la Administración o de las Fuerzas Armadas de los países más desarrollados existen especialistas en Ingeniería, Economía, Ciencias, etc. Incluso es probable que la mayoría supiera dar una idea aproximada del tipo de funciones que desarrollan aquéllos. Sin embargo, es casi seguro que no se tenga conocimiento por el gran público de la existencia en tales organizaciones de expertos en el uso de la matemática aplicada a la toma de decisiones para la gestión óptima de aquéllas o para la utilización eficaz de sus equipos materiales o humanos: son los profesionales de la *Investigación Operativa* (o, según se haya traducido el término original, *Operations Research*, *Investigación de Operaciones* u *Operacional*).

Se denomina *Investigación operativa* —o, simplemente I. O. (en inglés: O. R.)— a la aplicación del método científico y los conocimientos matemáticos para la obtención de criterios objetivos (cuantitativos, ordinales o de otro tipo) para la toma de decisiones en materias militares, económicas, administrativas, etc. No se trata de una ciencia en sí, sino de un arte o una técnica, la de usar la matemática, no ya en sus tradicionales campos de aplicación —las ciencias físicas, la ingeniería o la economía matemática— sino en el estudio de situaciones complejas, a veces de definición imprecisa, y en las que, normalmente, intervienen elementos humanos. Determinar cuándo hay que reponer una pieza en un equipo sometido a ciertas normas de uso y mantenimiento, de modo que se minimice el coste y se cumplan los requisitos de seguridad y fiabilidad; calcular la dieta que, cumpliendo los requisitos alimentarios, resulte más económica en una población humana o animal; establecer los mostradores de facturación en un aeropuerto de modo que se cumplan ciertos requisitos sobre los tiempos de espera; etc., pueden ser algunos ejemplos de trabajos de I. O.

La *Investigación operativa*, aparte de precedentes más o menos remotos, empieza a ser tal cuando un equipo de científicos, en 1937, explica a los militares británicos cómo hacer buen uso del entonces recién inventado *Radar*. La experiencia mostró la conveniencia de no polarizarse sólo en los equipos y prestar atención a las técnicas de su uso, tratando de optimizar éste. A lo largo de la guerra, en Gran Bretaña y en Estados Unidos (en menor medida también en Canadá y otros países de la Comunidad Británica de Naciones), se constituyen equipos de militares, matemáticos, físicos, ingenieros y científicos de diferentes especialidades que elaboran estudios sobre sistemas antiaéreos, lucha antisubmarina, etc. El papel, según algunos, de los equipos de I. O. se hizo notar en los resultados de la batalla de Inglaterra.

Tras la guerra, las nuevas necesidades

producidas por las nacionalizaciones en Gran Bretaña hacen que se formen equipos análogos en la industria y se vaya conociendo la actividad de los mismos como *Investigación operativa* (nombre que se conserva a pesar de su sabor militar). También en Estados Unidos, aunque con un cierto retraso, se produce el mismo desarrollo, que adquiere gran importancia en los años cincuenta. A continuación la I. O. se extiende al continente europeo y a otros países desarrollados. Un aspecto de esta extensión se encuentra en la creación de sociedades científicas dedicadas a su fomento y que agrupan a los profesionales, a las empresas y a los nacientes departamentos universitarios de I. O. A finales de los cuarenta ya existe la Sociedad Británica, en los cincuenta y sesenta se forman en Estados Unidos, Francia, España, México, etc., formándose en 1959 la IFORS (*International Federation of Operations Research Societies*).

El Instituto Tecnológico de Massachusetts organiza en 1948 el primer curso de I. O. no militar, y en los años siguientes las universidades americanas y británicas y, en menor medida, las europeas continentales van incluyendo la I. O. en sus planes de estudio (a veces con simples cursos, otras con *curricula* completos). También a lo largo de los años cincuenta aparecen las primeras revistas y libros de conjunto. De forma paralela a este proceso se producen nuevas aportaciones científicas, que caen en el ámbito de aplicación de la I. O., como la *Programación lineal*, a mediados de la década de los cuarenta, o la *Programación dinámica* en la de los cincuenta, así como el gran desarrollo de otras existentes anteriormente, como la *Teoría de juegos*. Por otra parte, van apareciendo distintos tipos de ordenadores, cuya existencia será decisiva para la I. O.

En los años sesenta y setenta la *Investigación operativa* se consolida en su doble vertiente de actividad profesional en la Industria, la Administración y las FF. AA. y de especialidad de la Matemática aplicada.

Problemas, métodos y características de la I. O. La definición dada al principio, como todas las apriorísticas, no aporta mucha luz sobre lo que sea la *Investigación operativa*. Parece conveniente, por tanto, matizarla con una breve descripción de los tipos de problemas que trata, así como de los métodos que usa y el carácter general que tiene, si bien sea de forma sucinta.

Empecemos por los problemas. Sin ánimo de ser exhaustivos citemos algunos de los más característicos:

a) *Asignación óptima de recursos* y, en general, problemas que pueden reducirse a hallar el máximo o mínimo de una cierta función objetivo, que suelen tratarse con los medios que proporcionan la *Programación matemática* y los métodos de *optimización del Análisis*.

b) Problemas que pueden modelizarse con técnicas *probabilísticas*, del estilo de

las usadas en *Teoría de colas* y, más general, en la de *procesos estocásticos*.

c) *Programación y planificación*; cuestiones que se tratan mediante *grafos* especiales (tipo PERT), modelos de análisis matemático u otras técnicas.

d) *Situaciones competitivas o conflictivas*, procedentes de los juegos, la guerra o la competencia empresarial, que se modelizan mediante la *Teoría de juegos*.

e) Problemas de *fiabilidad, seguridad, mantenimiento, reemplazamiento*, etc. de equipos y sistemas industriales, generalmente modelizados en base a *distribuciones probabilísticas, grafos, técnicas del Análisis*, etc. (por ejemplo como se hace en *Teoría de la fiabilidad*).

f) Problemas de *gestión de almacenes*, que, aunque pueden incluirse en el apartado a), son objeto de un tratamiento muy específico que ha conducido a modelos *estándar*.

g) Problemas de *transporte, logística, distribución* y similares que, normalmente, se modelizan con los medios que proporcionan la *Teoría de grafos* y la *Programación matemática*.

h) *Búsqueda, persecución* y otros temas conexos, referentes a problemas como los de búsqueda de información o localización de objetos, que suelen tratarse con diferentes técnicas procedentes de la Estadística, el Cálculo de variaciones, etcétera.

El método que utiliza la I. O. tiene diferentes etapas y sigue, en cierto modo, el propio de las ciencias físicas y de la técnica. De forma esquemática dichas etapas son las siguientes:

a) *Planteamiento del problema*, incluyendo objetivos, datos, etcétera.

b) *Formulación de un modelo* (fundamental, aunque no exclusivamente) *matemático*. Para ello es necesario, normalmente, observar, experimentar, poner en juego teorías científicas particulares (física, economía, etc.), dar forma matemática a las relaciones que se dan en el fenómeno en estudio, etcétera.

c) *Obtención de soluciones*. Normalmente se hará preciso el uso de algoritmos de cálculo cuya puesta en práctica será informática.

d) *Validación del modelo*. Ello no siempre será posible sin antes tomar las decisiones que han aportado las soluciones, pero en algunos casos sí lo será.

e) *Toma de las decisiones recomendadas*. Esta fase corresponde al gestor del sistema, pero en muchas cuestiones puede ser necesario (para validar el modelo, para hacer nuevos análisis, etc.) un seguimiento por parte de los servicios de I. O.

¿Con qué estilo o con qué características se hacen (o, mejor, debieran hacerse) estos trabajos? Refiriéndonos fundamentalmente al caso real, y no al que se desarrolla en el ambiente académico, éstas pudiera sintetizarse en unas pocas notas.

- Creatividad e imaginación.
- Espíritu científico.
- Equipos multidisciplinarios.
- Enfoque sistémico.

Las mismas se comentan por sí solas y no merecen mayores explicaciones. Baste únicamente insistir en que equipos muy sesgados por una u otra formación o experiencia, enfoques parciales o especializados y visiones de los problemas muy convencionales son incompatibles con la I. O.

El entorno de la I. O. Puede pensarse que, en contra de la datación que antes se ha hecho del inicio de su historia en 1937, la I. O. tiene raíces más remotas. En realidad los modelos teóricos de la economía, las aplicaciones industriales, militares y sociales de la Estadística y numerosos métodos, más o menos matemáticos, más o menos heurísticos, en organización industrial, logística, estrategia, etc. son claros precedentes de la misma. Por otra parte, su definición no permite establecer claramente su personalidad propia y la distinción nítida entre ella y otras disciplinas y actividades. Sin entrar en el tema fundamental de sus relaciones con la Matemática, que se tratará *in extenso* y por separado más adelante, conviene aclarar las conexiones de la I. O. con diferentes ciencias y técnicas, que se mueven en un plano común o parcialmente coincidente con ella.

En primer lugar convendría referirse a las relaciones entre la *Investigación operativa* y la *Informática*. En efecto: sin ordenadores, y sin los algoritmos y programas para poner en práctica en ellos los diferentes modelos matemáticos, desarrollados estas últimas décadas por multitud de técnicos e investigadores, la I. O. hubiera tenido escasas posibilidades de éxito. La simbiosis es tal que en muchos centros de trabajo se encuentran integrados en los mismos equipos los expertos en I. O. y los dedicados a aplicaciones informáticas.

En otros casos las actividades de I. O. se engloban o confunden también con las que, en empresas y organizaciones administrativas, se llevan a cabo en los campos de la organización, mejora de métodos, estadística aplicada, estudios económicos y econométricos, etc. La diferencia no es siempre fácil ni siquiera deseable. Piénsese que la I. O. no tiene más justificación que el éxito de sus resultados y es estéril pretender ningún purismo científico o metodológico. Por otra parte, resulta evidente que las tradiciones culturales, el desarrollo económico e industrial o el sistema social y político condicionan fuertemente el trabajo profesional y los estilos científicos. La I. O. es un producto originariamente anglosajón, que tiene una fuerte implantación en Estados Unidos, Gran Bretaña y en los antiguos dominios británicos y que se ha extendido con diferente éxito a la Europa continental, Japón y otros muchos países, como México o India (en algunos de ellos más en el campo académico que como actividad militar o industrial), pero que no resulta asimilable de forma mimética en todos. Así, en países como los del Este, las aplicaciones técnicas, industriales y militares de la matemática se dan en un

contexto algo diferente. Por ejemplo, las necesidades de métodos de cálculo para la planificación central de la economía han supuesto un incentivo para dichos estudios.

Otra actividad con la que la I. O. limita y, a veces, se confunde es el *Análisis de sistemas*. Este consiste en el estudio de *sistemas*, formados normalmente por seres humanos, máquinas, ordenadores, etc. interconectados por redes de comunicación, usando diferentes técnicas (métodos matemáticos, modelización y simulación, conceptos cibernéticos, etc.) con el fin de predecir su comportamiento, controlarlos,

basados en el tratamiento informatizado de modelos matemáticos y en el enfoque *sistémico*. Enfoque este último que es el introducido en la Tecnología, la Economía y las Ciencias Sociales por la aplicación a las mismas de las concepciones de la *Cibernética* de Wiener, la *Ingeniería de sistemas*, surgida de la práctica de los ingenieros dedicados a grandes proyectos y sistemas complejos, y la propia *Teoría General de Sistemas* de von Bertalanffy. La primera, como es sabido, se apoya en la idea de extender los modelos matemáticos de la información, la comunicación y el control (realimentación, entropía, etc.)

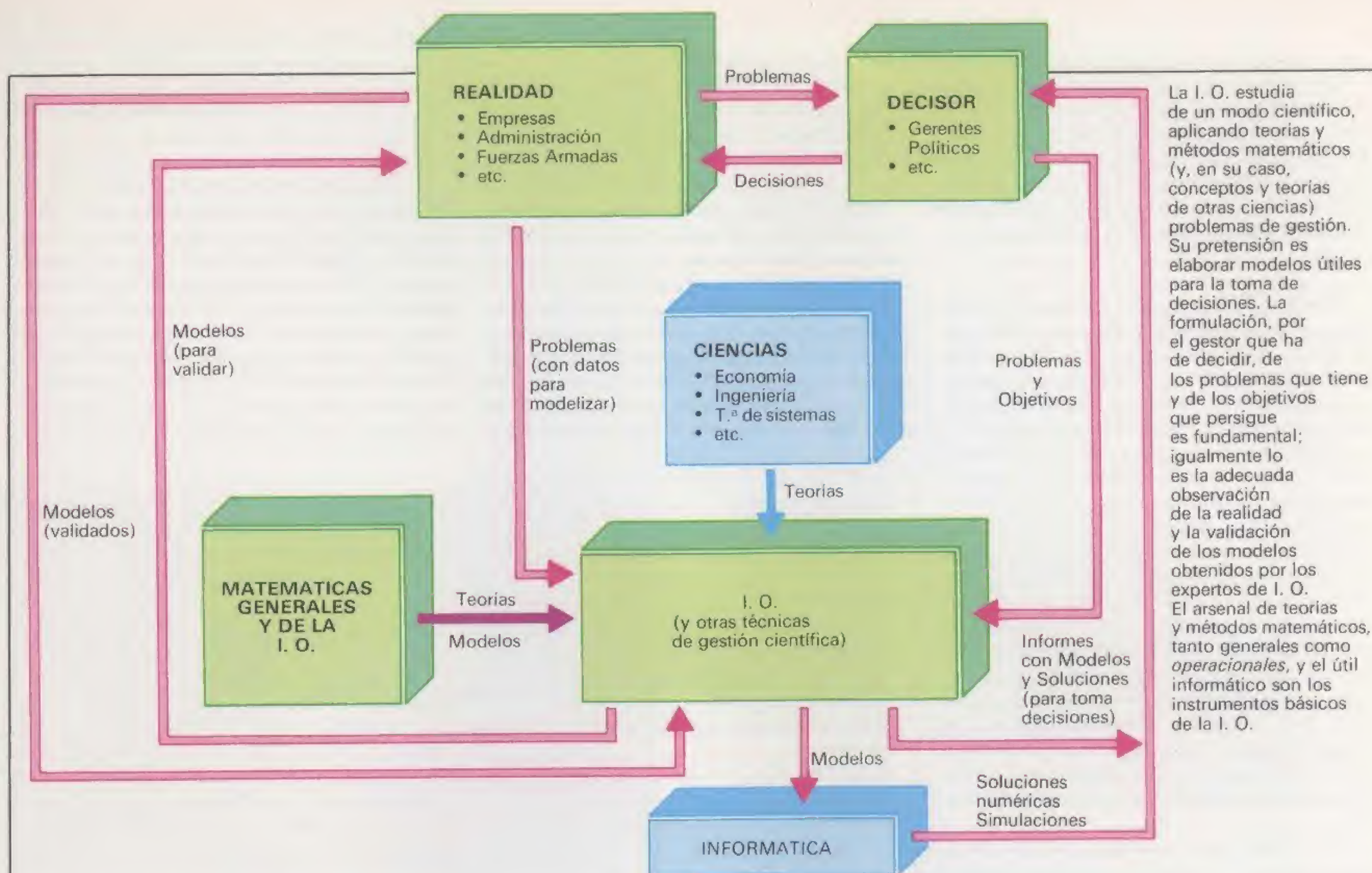
John von Neumann (1903-1957) nació en el seno de una aristocrática familia judía en Budapest. Estudió ingeniería química (en Berlín y Zurich) y matemáticas (en su ciudad natal). Fue profesor en Berlín y Hamburgo; en 1930 inició su labor en Princeton, fijando su residencia definitivamente en Estados Unidos al ser contratado como uno de los seis primeros profesores de la Escuela de Matemáticas del Instituto de Estudio Avanzado de Princeton, al fundarse éste en 1933. Se nacionalizó, se convirtió al catolicismo y fue miembro de la Comisión de Energía Atómica. Sus trabajos en Lógica y Teoría de conjuntos y sobre todo en la Teoría del espacio de Hilbert y la aplicación de éste a la Mecánica cuántica son de suma importancia. Sin embargo, es más conocido por un decisivo papel en el Diseño y teoría de autómatas y ordenadores y por su creación de la Teoría de juegos. Ésta última, iniciada por él en un trabajo de 1928, alcanzó su madurez en 1944.



etc. No conviene, como es usual, confundir dicha disciplina con la que recibe el mismo nombre —pero tiene un alcance mucho menor— en Informática (relativa sólo al análisis con vistas a su mecanización).

En realidad cabría pensar en la I. O. y el *Análisis de sistemas* como dos aspectos de una misma actividad (que también englobaría a técnicas económicas, estadísticas, organizativas, etc. más clásicas) y que sería el resultado de aplicar a las empresas y las organizaciones en general métodos científicos fundamentalmente

indistintamente a máquinas, seres vivos, hombres y sociedades; la segunda en el tratamiento de los grandes complejos técnicos o sociotécnicos (sistemas de transportes y comunicaciones, sistemas de defensa y aeroespaciales, ciudades, etc.) como *sistemas* en los que hay que estudiar especialmente las *interfases* entre componentes, el funcionamiento integrado, la fiabilidad conjunta y la optimización de ciertas funciones *objetivo*; y la tercera, a concebir como *todos, sistemas* o, incluso, como *organismos*, junto a los seres vivos, a las sociedades humanas, empre-



La I. O. estudia de un modo científico, aplicando teorías y métodos matemáticos (y, en su caso, conceptos y teorías de otras ciencias) problemas de gestión. Su pretensión es elaborar modelos útiles para la toma de decisiones. La formulación, por el gestor que ha de decidir, de los problemas que tiene y de los objetivos que persigue es fundamental; igualmente lo es la adecuada observación de la realidad y la validación de los modelos obtenidos por los expertos de I. O. El arsenal de teorías y métodos matemáticos, tanto generales como operacionales, y el útil informático son los instrumentos básicos de la I. O.

sas, organizaciones, etc. En este contexto la I. O. sería una de las técnicas posibles' (la que se basa en el uso extensivo de los modelos matemáticos) entre las de tipo *sistémico*. Tal parece ser la postura de numerosos cultivadores de la I. O. que, a su vez, han teorizado sobre la misma (Ackoff, Churchman, Beer, etc.). Esa sería también, con las peculiaridades propias del caso y las correspondientes connotaciones filosófico-políticas, la posición de algunos teóricos de países socialistas, como el gran economista polaco Oscar Lange (autor de importantes libros sobre *Cibernética* y *Teoría de sistemas*).

Aunque también se da, a veces, la corriente contraria; por ejemplo, uno de los más conocidos estudiosos de la I. O. en Francia, Arnold Kaufmann, ha presentado su disciplina, en alguna ocasión, como el núcleo de una futura *Praxiología* de base científica, es decir (usando el término en el sentido que le da su creador, el filósofo polaco Kotarbinski, y que Ferrater Mora, en su *Diccionario*, escribe como aquí se hace, aunque haya autores que pongan *Praxeología*), como una teoría de la acción eficaz. En tal caso la I. O. englobaría, evidentemente, a toda otra actividad que pudiera calificarse de gestión científica. En ese sentido, en los países anglosajones se habla también de *Management Science*, unas veces con un significado más o menos próximo a la I. O., otras en una acepción más amplia, que incluiría muchas de las disciplinas antes citadas.

Es obvio que todas estas pretensiones de generalización tienen mucho de discutible. Son bastantes los sociólogos, epistemólogos y filósofos que las ponen en

cuestión. Unos, por dudar de las posibilidades que tiene la Matemática para modelizar la realidad *humana y social*; lo cual era relativamente cierto antes del gran desarrollo experimentado por la Matemática pura y aplicada en este siglo, sobre todo la no *cuantitativa* (Lógica matemática, Conjuntos, Combinatoria, Topología, Teoría de grupos, etc.). Otros, por no aceptar el ya viejo paradigma de la Sociología organicista del siglo pasado, que tanto debía a la Biología; a pesar de las razones que hay para compartir este rechazo, también es forzoso reconocer la enorme distancia que existe entre Spencer y von Bertalanffy y resaltar la importancia que da éste a los modelos matemáticos, el isomorfismo, etc., más que a la simple y caduca analogía sociedad-organismo. Por último, los hay que ven, si no en la I. O., la *Cibernética* o la *Teoría de sistemas* como ciencias o técnicas, sí en las pretensiones de algunos de sus cultivadores de erigirlas en una nueva filosofía social, una especie de *ideología*, la propia de la clase de los científicos, técnicos, expertos y gerentes, que emerge en las sociedades postindustriales con el propósito de justificar su papel y, eventualmente, su predominio social.

I. O. y Matemática La Investigación operativa utiliza, aparte de métodos matemáticos muy generales —procedentes fundamentalmente del Álgebra, el Análisis o el Cálculo de probabilidades— numerosas técnicas especializadas, algunas surgidas, precisamente, por sus propias necesidades. Ello ha producido el hecho curioso de que, durante dos o tres déca-

das (los años cincuenta y sesenta fundamentalmente), en diferentes medios académicos se identificase como I. O. una de las ramas o, al menos, uno de los conjuntos relativamente homogéneos de disciplinas propias de la matemática aplicada. Libros titulados *Investigación operativa*, cursos o *curricula* completos en instituciones universitarias dedicadas a la misma, congresos y reuniones, etc. propiciaban la confusión entre la I. O. como actividad profesional e industrial y un conjunto de materias matemáticas. En estos últimos tiempos, el propio desarrollo de la I. O. (y su inmersión en el complejo de actividades que forman la Informática, la Cibernética, la Teoría de sistemas y otras disciplinas aplicadas a la gestión científica) y la proliferación y progresiva caracterización de las diferentes especialidades matemáticas que usa, han hecho que sea más clara la diferencia entre aquella y éstas.

No obstante sigue englobándose bajo la etiqueta I. O. una amplia gama de materias matemáticas. Unas relativamente autónomas y con personalidad propia, como la *Programación matemática* (en sus diferentes ramas: *lineal*, *no lineal*, *en números enteros*, *dinámica*, etc.), la *Teoría de juegos*, la *Teoría de grafos*, la *Teoría de colas*, etc. Otras, que no son sino el resultado de aplicar resultados del análisis o del cálculo de probabilidades a diferentes modelos de problemas reales: gestión de almacenes, mantenimiento de equipos, renovación industrial, etc. Por otra parte, estarían próximas disciplinas como la *Teoría de la fiabilidad*, la *Teoría de la información*, etc., que con un *status* propio y aplicaciones muy específicas en Ingeniería de sistemas

son, a veces, utilizadas en modelos de I. O. Habría, también, que citar la constante aplicación en ésta de métodos de optimización (aparte de los propios de la *Programación matemática*) procedentes del Análisis matemático; por ejemplo: las del cálculo clásico de máximos y mínimos, del de variaciones, o de la moderna Teoría del control óptimo. Análoga consideración habría que hacer sobre las aportaciones de diferentes ramas del Cálculo de probabilidades y la Estadística que, aunque a veces se consideran incluidas en cursos y textos de I. O., la desbordan; tal sería, en rigor, el caso de algunas de las disciplinas ya señaladas —como las *Teorías de colas* y de la *Información*— y, en mayor medida, de la *Teoría de procesos estocásticos*, la *Teoría de la decisión*, etc. Quedaría para el último, pero importante, lugar la referencia al método de Montecarlo y, en general, a todas las técnicas de simulación (a caballo entre la Matemática, la Estadística y la Informática), cuya aplicación es imprescindible en I. O. Convendría, por otra parte, observar la fuerte dependencia de las materias citadas —tanto si se trata de disciplinas relativamente autónomas como de meras particularizaciones de otras más generales— de las ramas básicas de la Matemática pura. Así, por ejemplo, la *Programación lineal* se reduce al estudio de las propiedades de ciertos subconjuntos en un espacio vectorial, o la *Teoría de colas* al de casos particulares de procesos estocásticos, y su importancia y personalidad propia se derivan más de la extensión y detalle que han alcanzado y del interés para las aplicaciones que de la autonomía de sus métodos.

Algunos ejemplos simples Pasar revista, por breve y simplificada que se pretendiese, a las disciplinas antes referidas sería un empeño quimérico. Sin embargo, sí puede darse un par de ejemplos que muestren de modo sencillo el estilo de pensamiento que presentan las matemáticas de la I. O.

Sea un caso muy elemental de *programa lineal*. Se trata de determinar para qué valores la función lineal

$$f(x_1, x_2) = p_1x_1 + p_2x_2$$

se hace máxima, con las condiciones de que x_1 y x_2 sean no negativos y, además, se cumplan las desigualdades:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 &\leq b_2 \end{aligned}$$

El anterior programa puede ser *modelo* de muchísimos problemas reales. Por ejemplo: piénsese en un fabricante de dos productos, cuyas cantidades se representan por x_1 y x_2 y cuya venta deja beneficios por unidad de producto p_1 y p_2 , respectivamente; por otra parte, ambos productos requieren dos factores productivos (por ejemplo, trabajo y materias primas) que vienen dados por los coeficientes a_{ij} (cantidad del factor i para producir

una unidad del producto j); de dichos dos factores sólo se dispone de cantidades b_1 y b_2 , respectivamente. Obviamente se trata de maximizar $p_1x_1 + p_2x_2$ con la condición de que x_1 y x_2 sean no negativos y se cumplan las desigualdades anteriores. Si, para concretar, suponemos $a_{11}=1$, $a_{12}=2$, $a_{21}=1$, $a_{22}=3$, $p_1=4$, $p_2=5$, $b_1=20$ y $b_2=24$ se tiene fácilmente que el conjunto que forman los puntos (x_1, x_2) que cumplan ambas desigualdades es el interior del cuadrilátero de vértices $(0, 0)$, $(20, 0)$, $(12, 4)$ y $(0, 8)$; un razonamiento sencillo prueba que el máximo no puede corresponder a un punto interior y, por otra parte, un cálculo simple muestra que en los cuatro vértices el valor de $4x_1 + 5x_2$ es, respectivamente, 0, 80, 68 y 40, de lo que resulta que el máximo se alcanza en $(20, 0)$. El mismo resultado hubiera podido obtenerse dibujando los semiplanos que definen cada una de las desigualdades, hallando el polígono común y observando que las rectas paralelas $4x_1 + 5x_2 = C$ dan valores mayores de C según se alejan del origen en la dirección de x_1 y x_2 positivos; por lo tanto, el máximo corresponde al vértice antes citado.

Cuando el número de variables es grande hay que recurrir a los algoritmos especiales que proporciona la *Programación lineal* (el *simplex*, por ejemplo, que da un método para ir buscando eficazmente el vértice que da el óptimo) y, además, ponerlos en práctica en ordenador.

Veamos ahora un modelo muy simplificado de *gestión de almacenes* cuya solución sólo requiere ideas elementales de cálculo. Se trata de almacenar un producto de demanda constante a lo largo del tiempo, sea ésta la cantidad D diaria; los costes del producto son: C_1 el unitario de compra, C_2 el de almacenamiento por unidad y día y C_0 el de gestionar un pedido, todos ellos constantes. Como se comprende fácilmente, un modelo más sofisticado supondría costes variables, gastos financieros, demanda aleatoria, etc.; por otra parte, el hecho de ser la demanda conocida y constante permite ordenar el pedido de forma que sea servido justo cuando se acaba el anterior y, naturalmente, ha-

cer coincidir el volumen del pedido con la cantidad máxima del inventario, que es otra hipótesis demasiado simple. En la figura adjunta se muestra la evolución del inventario almacenado. El único problema que plantea este modelo tan simple es el volumen del pedido Q que resulta más económico. Un cálculo sencillo muestra que el coste por período entre dos pedidos es

$$C_0 + C_1Q + C_2 \frac{T}{2}Q$$

(el factor $1/2$ procede del hecho de que el inventario medio entre Q y 0, variando aquel linealmente, es $Q/2$). Por otra parte, será $T=Q/D$; con lo que el coste por período T queda:

$$C_0 + C_1Q + \frac{C_2}{2D}Q^2$$

Por otra parte, los pedidos anuales serán $365/T = 365D/Q$ y, el coste anual

$$365 \left(\frac{C_0D}{Q} + C_1D + \frac{C_2}{2}Q \right)$$

el pedido, Q_m , que hace dicho coste mínimo puede calcularse igualando a cero la derivada; es decir:

$$-\frac{C_0D}{Q^2} + \frac{C_2}{2} = 0$$

que conduce a

$$Q_m = \sqrt{\frac{2C_0D}{C_2}}$$

que supone un equilibrio entre el coste de almacenamiento y el de hacer el pedido.

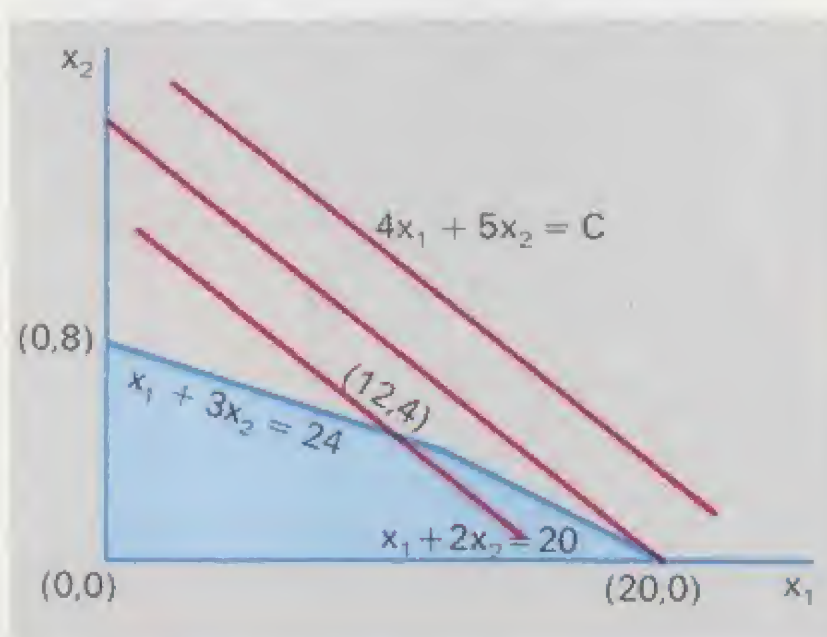
Véase *Cibernética; Control de calidad; Estadística; Estimación estadística; Modelo matemático; Muestreo estadístico; Optimización; Ordenador; PERT; Probabilidad; Programación matemática; Sistemas; Teoría de la decisión; Teoría de la información; Teoría de juegos*

En las figuras se ilustran gráficamente los dos ejemplos elementales de I. O. desarrollados en el texto. En la primera

de ellas se ve cómo las desigualdades de un problema de programación definen un polígono y cómo el óptimo

de la función objetivo se alcanza en uno de los vértices. En la otra se representa la evolución del inventario en el problema

elemental que se plantea cuando la demanda es constante y los costes (de pedido, de compra y almacenamiento) constantes.



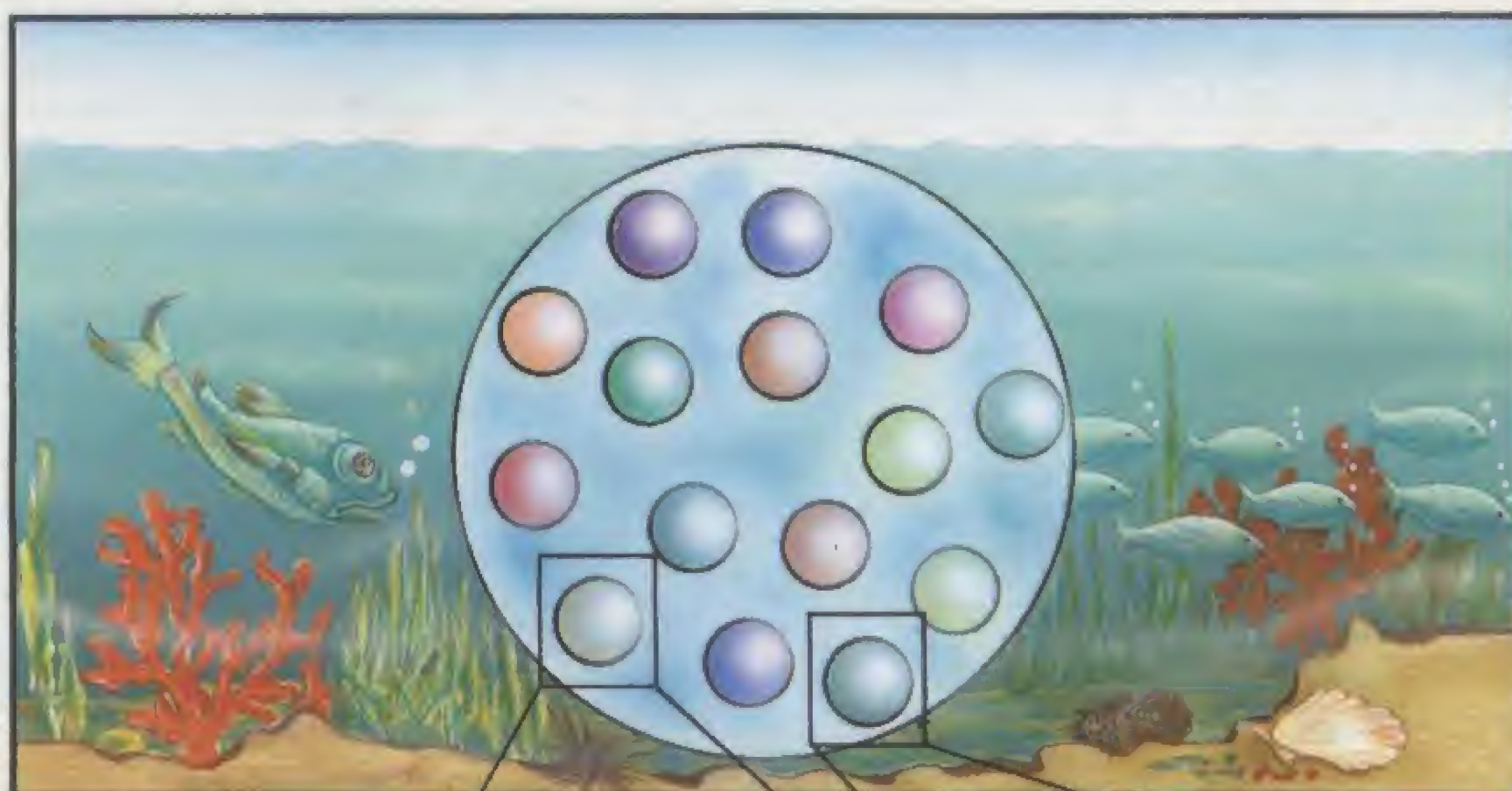
Iones

En el año 1884, un joven estudiante sueco de Química, Svante August Arrhenius, se arriesgó a ser suspendido al presentar su tesis doctoral en la que pretendía explicar la conductividad eléctrica de ciertos líquidos. Arrhenius defendía la hipótesis de que ciertos líquidos conductores de la corriente eléctrica contenían *iones*, es decir, átomos o grupos atómicos cargados positiva o negativamente, los cuales eran responsables de la conductividad al desplazarse en el medio líquido.

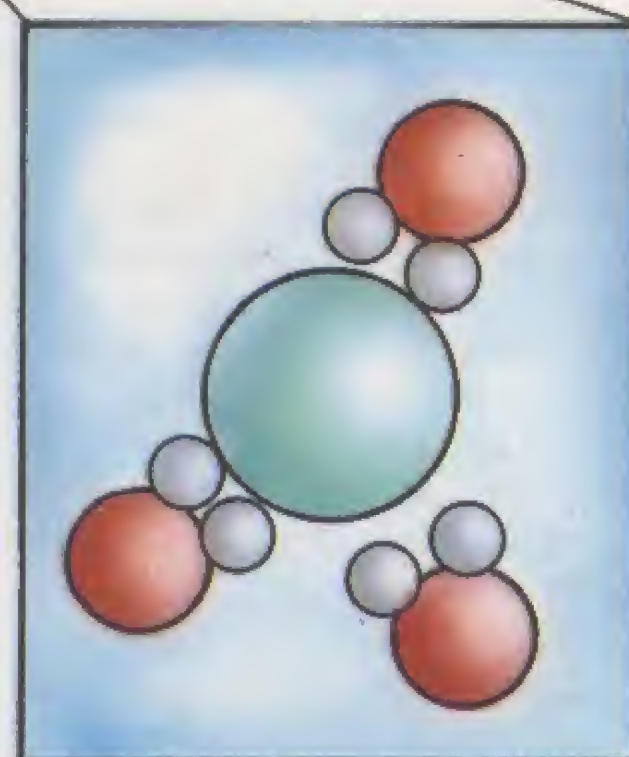
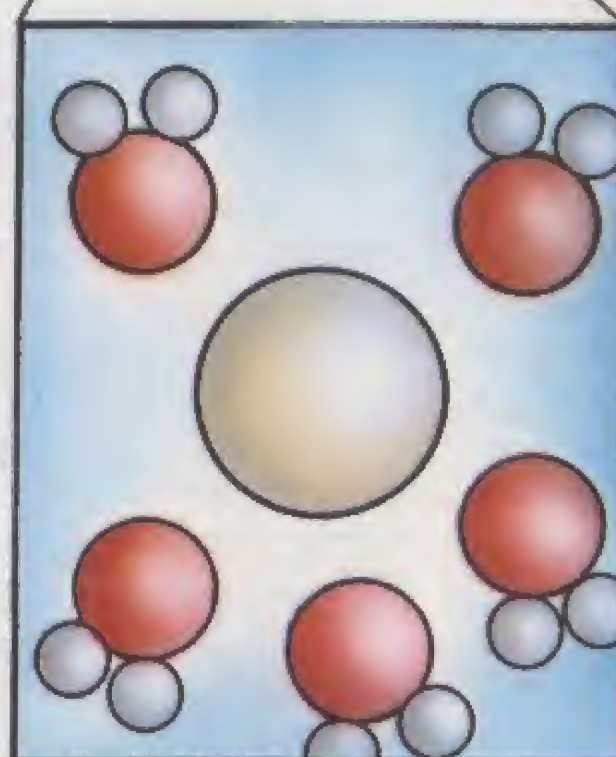
Los profesores de Arrhenius consideraron la hipótesis excesivamente aventurada y le relegaron al último puesto de su promoción. Pero el joven químico encontró más comprensión fuera de su país. En 1887 se publicó en alemán su teoría, que, apoyada por eminentes químicos de la época, como Ostwald, Kohlrausch y Van't Hoff, se fue imponiendo poco a poco, hasta que en 1903, ya de vuelta a Suecia y profesor de Física en la Escuela Técnica Superior, le fue concedido el Premio Nobel de Química por su teoría y estudios sobre la electrolisis.

Refrendada ya la teoría de la disociación iónica de Arrhenius mediante el Premio Nobel, fue comprobada la existencia de iones no solamente en las disoluciones electrolíticas (de sales, bases y ácidos) sino también en el interior de las células vivas y en los cristales de minerales y rocas. También fue descubierta una capa de la alta atmósfera (ionosfera) formada por iones. La presencia de iones en diversos tipos de materia es un hecho muy generalizado.

Átomos e iones La materia es principalmente de naturaleza eléctrica. El constituyente de mayor movilidad en el átomo es el electrón, partícula con carga negativa que se mueve en torno al núcleo atómico, que se encuentra formado por protones (carga positiva) y neutrones (sin carga). La carga neta de un átomo normal es nula, es decir, el átomo es neutro porque el número de cargas positivas del núcleo (protones) es igual al de cargas negativas de la corteza (electrones). Pero, en



	Na ⁺ (10,5 g/l)
	K ⁺ (0,4 g/l)
	Ca ⁺⁺ (0,4 g/l)
	Mg ⁺⁺ (1,3 g/l)
	Cl ⁻ (19 g/l)
	Br ⁻ (6,5 g/l)
	I ⁻ (1 mg/l)
	SO ₄ ⁻⁻ (2,4 g/l)
	CO ₃ ⁻⁻ (1,4 g/l)

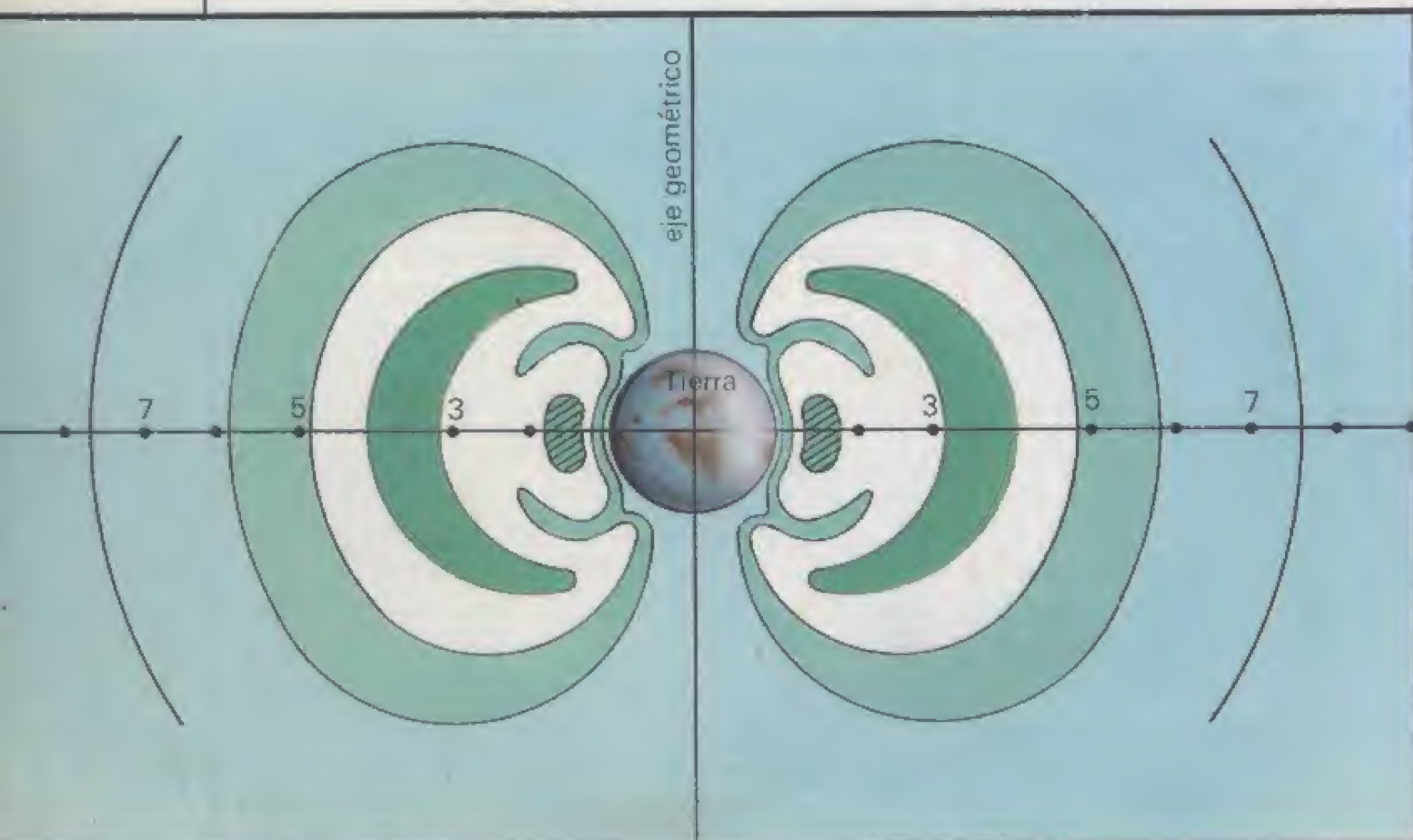


determinadas circunstancias, un átomo puede perder o adquirir uno o más electrones. Este proceso se llama *ionización*. Como consecuencia, el átomo que pierde uno o más electrones se transforma en un ion positivo, y el átomo que los toma, en un ion negativo.

El proceso de ionización positiva tiene lugar como resultado de la absorción de energía por parte del átomo. En este caso los electrones más alejados del núcleo, es decir, los de mayor energía, escapan a la

atracción electrostática y se separan del átomo. La energía necesaria para arrancar un electrón de un átomo, pasando éste a ion positivo, se conoce con el nombre de *potencial de ionización* y suele expresarse en electronvoltios (eV). Un *electronvoltio* es la energía de un electrón sometido a la diferencia de potencial de un voltio.

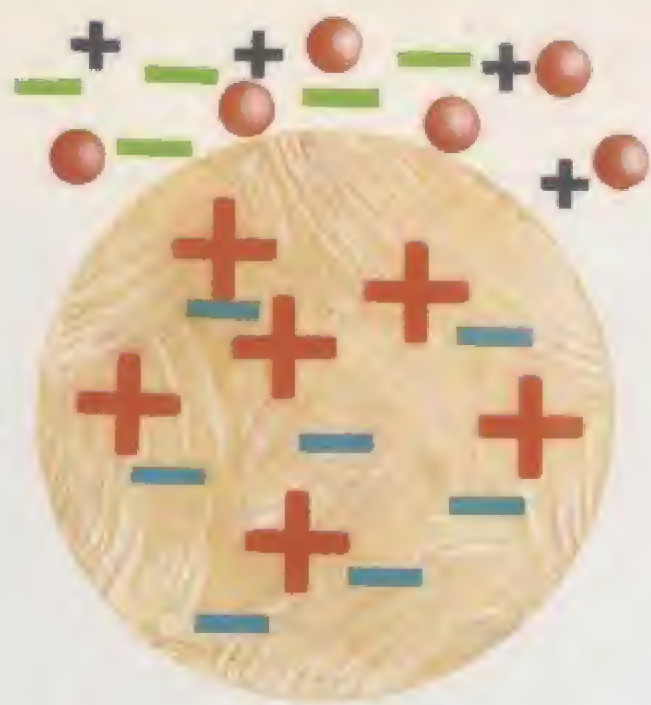
Los átomos absorben energía de diversas formas. Así, la energía luminosa, o *fotónica*, es capaz de arrancar en determinadas circunstancias electrones de la su-



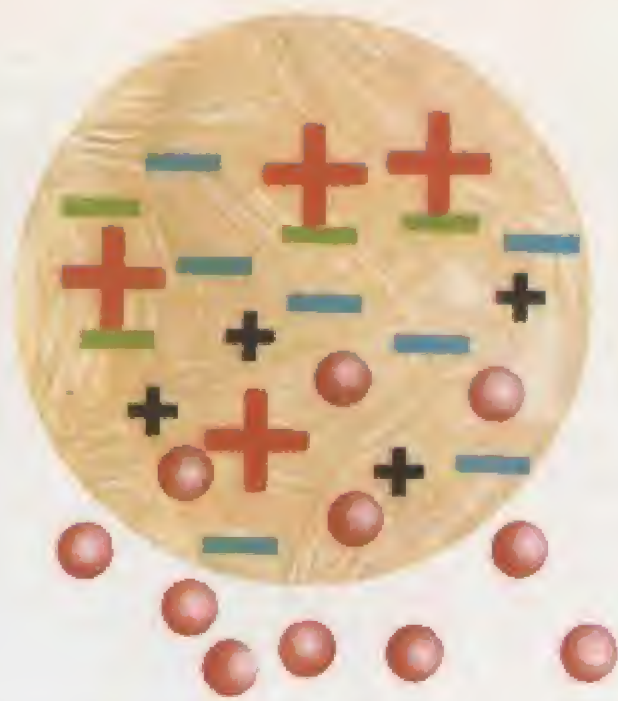
— radio terrestre
 100 MeV
 1 MeV

Arriba, agua de mar, que es un enorme almacén de iones. En la tabla de claves se ha indicado el contenido medio de los iones que se encuentran presentes con más frecuencia, entre los cuales los más abundantes son el catión sodio y el anión cloruro, representados en mayor tamaño y rodeados de moléculas de agua (solvatación). Estos iones son extraídos como cloruro de sodio (sal común). La composición iónica del mar es muy variable y comprende casi todos los elementos conocidos, por tanto, se puede considerar como una fuente de extracción.

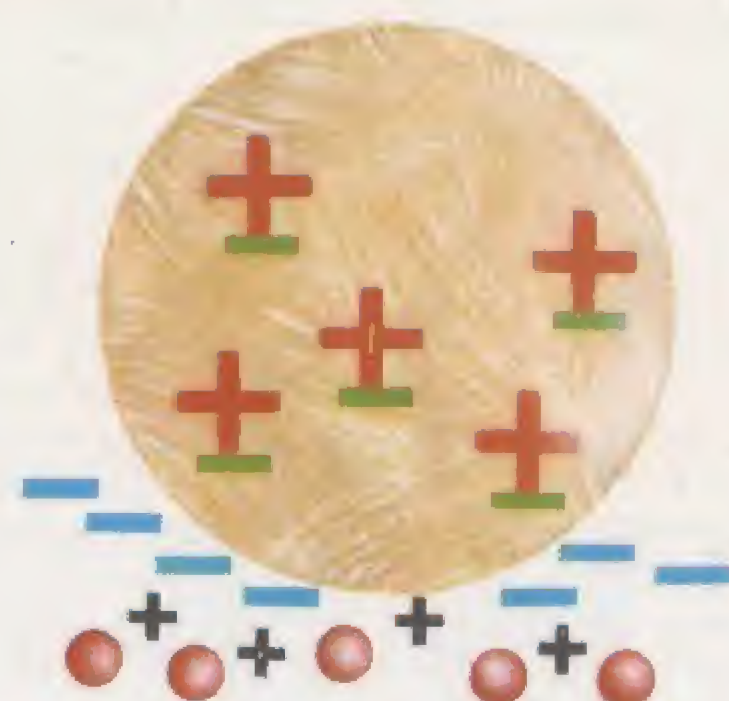
A la izquierda, los anillos de Van Allen, que rodean nuestro planeta. Son regiones en las que los iones hidrógeno (protones) procedentes del Sol (vientos solares) y electrones han quedado atrapados por el campo magnético terrestre. Los satélites artificiales han suministrado amplia información de su existencia. La concentración máxima de partículas con carga se encuentra en una cara interna próxima al ecuador y a una distancia igual aproximadamente al radio de la Tierra; es menor en la cara externa situada a tres radios.



Sobre estas líneas, esquema del proceso de intercambio iónico de una resina aniónica. En las moléculas del gránulo de resina están contenidos los grupos activos con carga positiva (ion amónico) en equilibrio con el anión intercambiable (contraión). Cuando la resina se pone en contacto con una solución que contiene distintos aniones de los



contraiones, éstos se intercambian adentrándose en la disolución, mientras que los aniones se quedan fijados sobre la resina. El anión fijado sobre la resina, a su vez, puede ser intercambiado poniéndose en contacto con otro anión de mayor actividad o con el mismo contraión más concentrado, regenerándose de esta manera la resina.



— aniones
● neutrones
+ cationes
+ grupo activo
— contraión

perficie de los metales (efecto fotoeléctrico). De forma análoga se ha generado la ionosfera, mediante la radiación solar de mayor frecuencia (ultravioleta). La energía necesaria para que los átomos pierdan electrones puede ser debida a un aumento de temperatura. Tal es el caso de los filamentos incandescentes de las lámparas, los cuales emiten electrones (efecto Edison, o termoiónico).

La ionización negativa tiene lugar como consecuencia de un proceso químico espontáneo en el que hay una liberación de energía. Hay ciertos átomos que poseen una gran afinidad por los electrones. Como resultado de esta afinidad, cuando están en presencia de otros que los ceden, captan con poca energía los electrones, adoptando una estructura iónica más estable y desprendiendo al mismo tiempo energía. Esta energía se llama *afinidad electrónica*. Entre los elementos que se ionizan negativamente adquiriendo electrones se encuentran el flúor, el cloro, el oxígeno y el nitrógeno.

Los iones, una vez formados, pueden estar libres en las disoluciones o en las sales fundidas, en cuyo caso se desplazan con cierta movilidad bajo la acción de campos eléctricos. Pero otras veces, los iones tanto positivos como negativos forman estructuras ordenadas y rígidas (cristales iónicos), constituyendo infinidad de minerales y rocas en la Naturaleza. En este último caso los iones no se desplazan dentro de la red iónica.

El disolvente por excelencia de la Naturaleza, el agua, desempeña un papel muy destacado en el desplazamiento de los iones. La molécula de agua, en efecto, forma un dipolo eléctrico, por lo que puede atraer tanto a los iones positivos como a los negativos. Como consecuencia, el agua lleva a cabo una operación de "secuestro" de iones que, disueltos posteriormente, son arrastrados hacia el mar. El constante lavado de la corteza terrestre mediante las aguas de lluvia durante la larga historia de la Tierra ha originado ese inmenso almacén de iones (principalmente de Na^+ y Cl^-) que es el mar. Sin embar-

go, hay muchos iones presentes en las rocas que resisten la acción del agua.

Un proceso interesante que tiene lugar en la Naturaleza es el *intercambio iónico*. Consiste en la sustitución de unos iones por otros. Este intercambio tiene gran importancia en la absorción de elementos químicos por parte de las raíces de las plantas y en la interacción entre los fertilizantes y el suelo. Otra de las aplicaciones actuales consiste en la obtención de agua desionizada (verdadera agua destilada) mediante la utilización de resinas de intercambio iónico.

Viajeros atómicos El término *ion* se debe a Michael Faraday (1791-1867), quien comprobó que al introducir en ciertas disoluciones dos barras metálicas —a las que llamó *electrodos*— conectadas a los polos de una pila, algunas sustancias cargadas se desplazaban hacia un electrodo y otras hacia el electrodo contrario. Faraday emplea el término griego *ion*, que quiere decir "caminante", para designar esas "sustancias cargadas". Llamó *cationes* a las sustancias que se dirigen al cátodo (electrodo negativo) y *aniones* a las que se dirigen al ánodo (electrodo positivo). Por tanto, como los iones de cierto signo se mueven hacia el electrodo de signo contrario, los cationes son positivos, y los aniones, negativos.

La movilidad de los iones en las disoluciones o en sales fundidas bajo la acción

de un campo eléctrico depende principalmente de la carga y masa del ion. Por lo general, el movimiento de los iones en las disoluciones es lento y viene dificultado también por el efecto de *solvatación*, o unión de una o varias moléculas de disolvente al ion, que hacen de lastre. Sin embargo, los iones atómicos acelerados mediante campos eléctricos en tubos en los que se ha practicado el vacío pueden moverse a gran velocidad. Se ha pensado incluso en la utilización, para cohetes espaciales, de motores a propulsión basados en la emisión de iones acelerados a altas velocidades, en vez de los convencionales motores de gases combustibles.

Véase **Acelerador de partículas; Ácidos y bases; Acumulador; Agua; Electrolisis; Enlace químico y valencia**

Al lado, una batería para preparar agua desionizada en laboratorios de análisis. El agua de red de distribución se hace pasar a través de tres columnas: la primera contiene un intercambiador catiónico fuerte, en forma de H^+ ; la segunda, una resina aniónica débil; y la tercera, una aniónica fuerte con la forma OH^- . Con las sales M^+X^- disueltas en el

agua, las resinas catiónica R^-H^+ y aniónica H^+OH^- dan lugar a una serie de reacciones de intercambio de tipo general:
 $\text{R}^-\text{H}^+ + \text{M}^+ + \text{X}^- \rightarrow \text{R}^-\text{M}^+ + \text{H}^+ + \text{X}^-$
 $\text{R}^+\text{OH}^- + \text{H}^+ + \text{X}^- \rightarrow \text{R}^+\text{X}^- + \text{H}_2\text{O}$
 la sal MX es sustituida por el agua. De hecho, la total desionización ha sido producida por el aumento de la resistencia eléctrica del agua.



Ionización, cámara de

Las radiaciones, la mayor parte de ellas, no pueden ser vistas, ni oídas, ni tocadas, ni olidas. De cualquier modo, estamos en disposición de detectarlas con dispositivos que registran las "señales" de las radiaciones, las trazas dejadas a su paso por el aire o por algún otro medio. Uno de los primeros dispositivos de este tipo se dio a conocer bajo el nombre de *cámara de ionización*, con el cual se designan actualmente aquellos dispositivos que detectan la radiación por efecto de la ionización de los átomos (se dice que un átomo está ionizado, cuando posee una carga eléctrica, positiva o negativa). Átomos radiactivos son los átomos que poseen el núcleo inestable. Para conseguir un estado estable, tales núcleos expelen o irradian varios tipos de partículas a alta velocidad. Según el tipo de partícula emitida, la radiación es llamada *radiación alfa*, *radiación beta* o *radiación gamma*. Al atravesar un medio como el aire, estas par-

tículas golpean los átomos, produciendo cargas eléctricas llamadas *iones*. La presencia de iones en una cámara de ionización viene registrada como un sonido seco o con algún otro tipo de señal.

Ionización En los átomos ordinarios, el núcleo está rodeado de una multitud de pequeñas partículas cargadas negativamente, llamadas *electrones*. El núcleo está formado por partículas cargadas positivamente, llamadas *protones*, y por partículas con carga eléctrica nula, llamadas *neutrones*. La carga de un átomo ordinario es nula porque el número de electrones (cargados negativamente) es igual al número de protones (cargados positivamente), y por tanto las dos cargas se neutralizan mutuamente, resultando nula la carga del átomo.

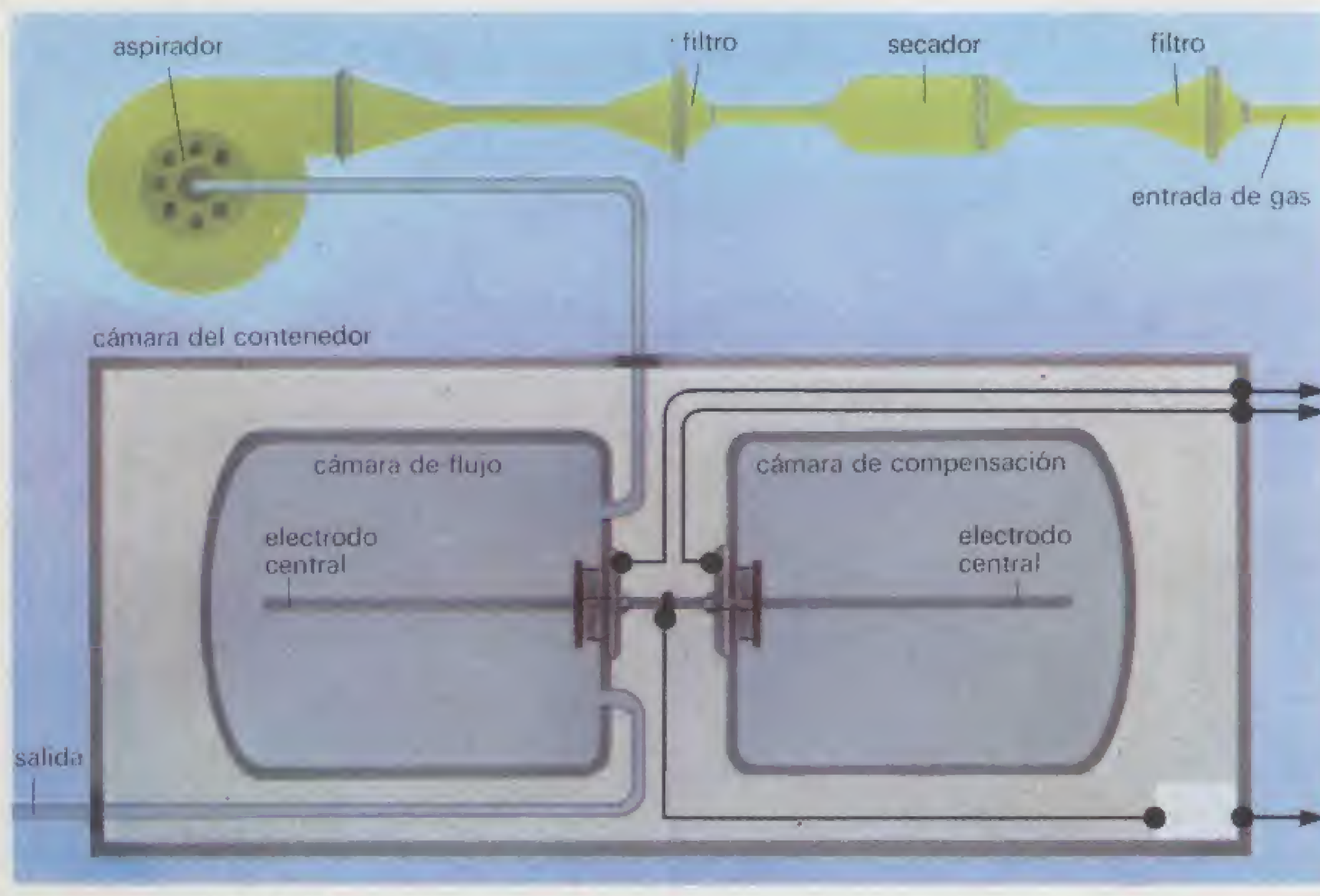
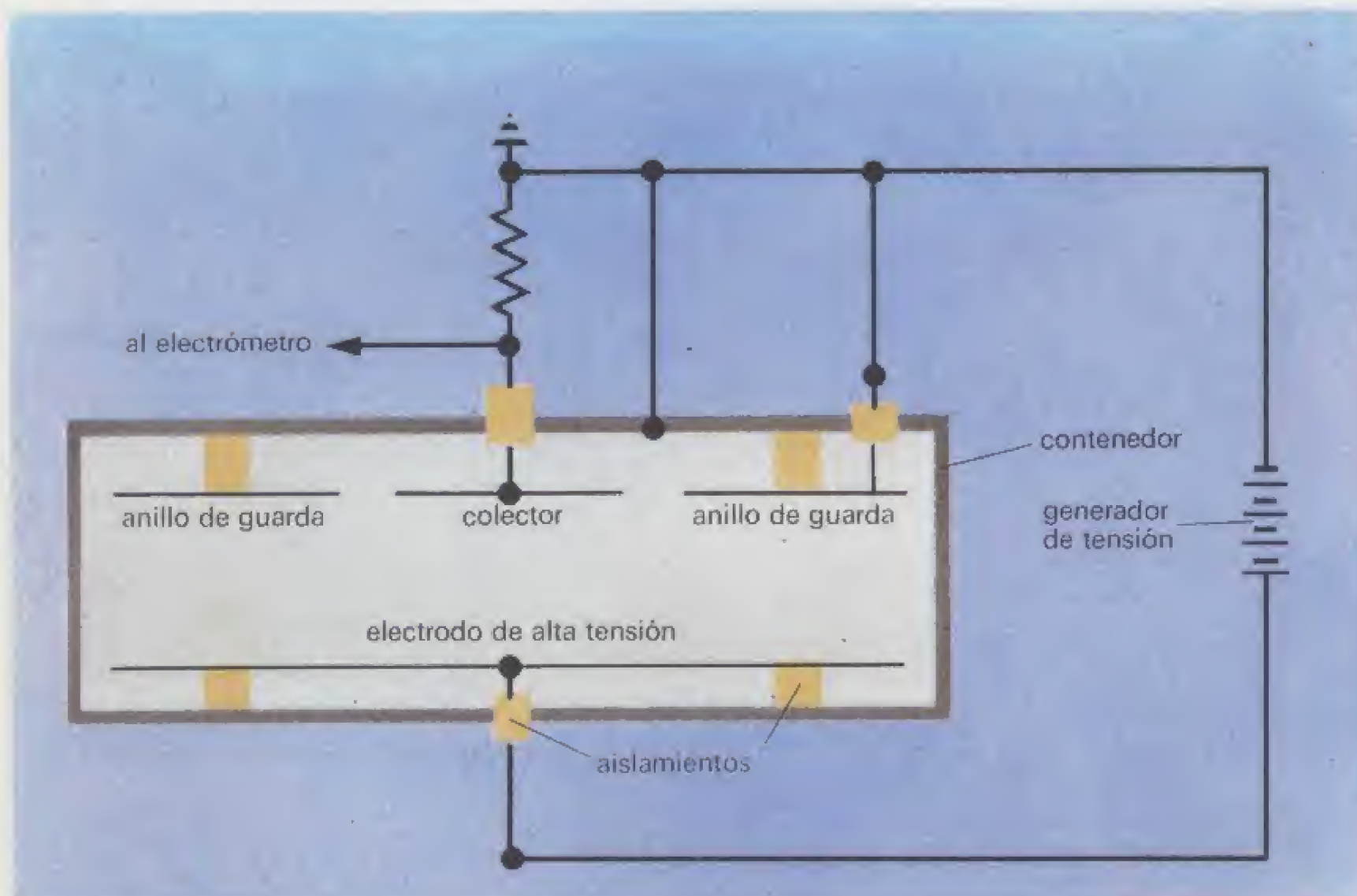
Si este equilibrio se rompe, el átomo se carga eléctricamente y se llama *ion*. Los átomos pueden ionizarse cuando una par-

tícula radiactiva emitida por un átomo radiactivo pasa a través de la nube de electrones en torno al núcleo. Este efecto es similar al choque de una bola de billar; uno o más electrones pueden ser expulsados del átomo, quedándose completamente libres y dejando al mismo átomo con una carga eléctrica positiva. Si la partícula emitida desde el átomo radiactivo tiene energía suficiente, puede proseguir después del choque sin perder una parte apreciable de energía y puede bombardear más átomos y dejar más partículas ionizadas en su camino.

La cámara de ionización consiste en un medio gaseoso puesto entre dos placas metálicas, llamadas *electrodos*, en el interior de un contenedor completamente cerrado. Un generador de tensión —por ejemplo, una batería— se conecta con los electrodos, de manera que —por efecto del principio según el cual las cargas opuestas se atraen— los electrones son atraídos por el electrodo positivo, llamado *ánodo*, mientras que los iones positivos se dirigen hacia el electrodo cargado negativamente, llamado *cátodo*.

Cuando en la cámara está presente una radiación ionizante, las partículas a alta velocidad emitidas desde los átomos radiactivos chocan con los átomos del gas, dejando en su estela una fila de electrones y de iones. Los electrones emigran al ánodo y los iones al cátodo. Puesto que la electricidad es un movimiento de electrones, el resultado es un pequeño —pero medible— flujo de corriente eléctrica. La cantidad de corriente eléctrica representa una medida de la cantidad de radiación que la ha producido.

Tipos de cámara de ionización Los primeros tipos de cámara de ionización estaban en condiciones de detectar sólo cantidades relativamente grandes de radiación. Bien pronto, sin embargo, se fueron desarrollando tipos más sensibles, entre los que se encuentran los contadores proporcionales y los contadores Geiger. En estos reveladores, la diferencia de potencial entre los electrodos es muy elevada. Esto hace que los iones se muevan con alta velocidad hacia los electrodos, que los iones choquen con otros átomos y que los ionicen a su vez. Esta ionización "se-

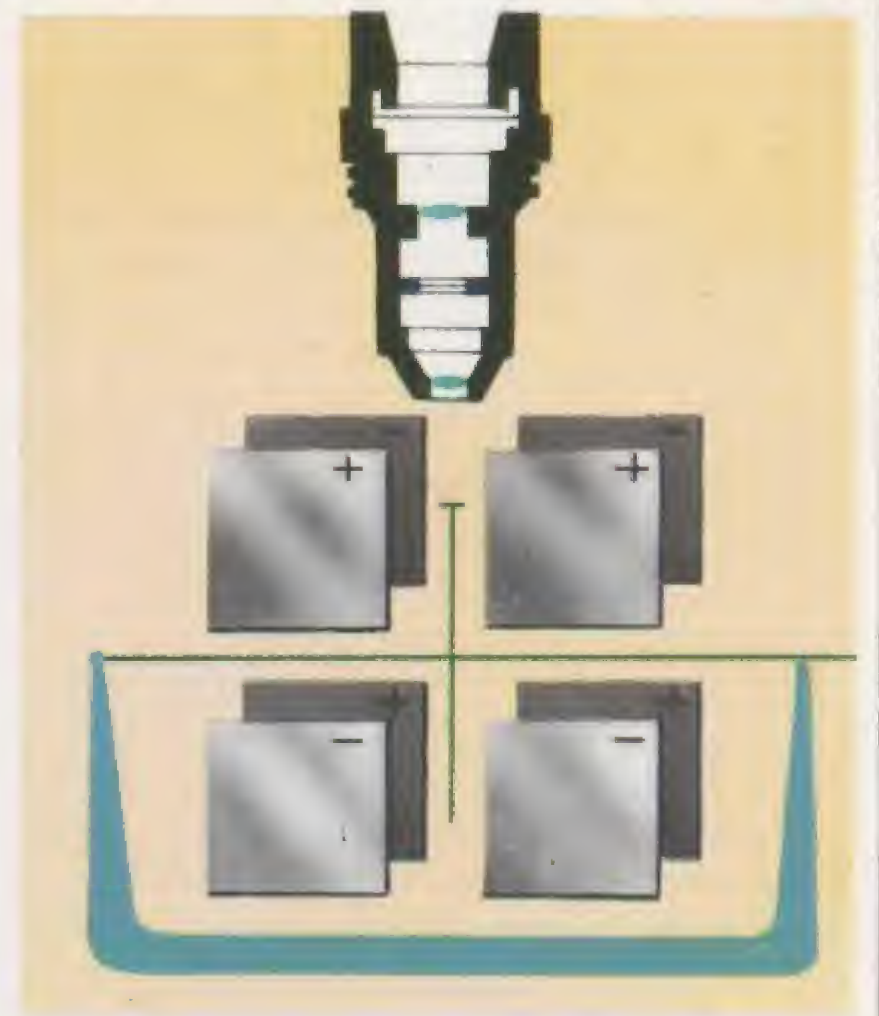


A la izquierda, arriba, esquema de la cámara de ionización de electrodos planos. El anillo de guarda impide que la línea de fuerza del campo eléctrico se curve hacia el extremo del electrodo; además, asegura que el campo sea uniforme en la cámara. Debajo se representa el esquema de una cámara de ionización de electrodos cilíndricos preparada para revelar el gas radiactivo. A la

derecha, en la página siguiente, un detalle particular del electrómetro de Lindemann. Este instrumento sirve para medir la carga recogida por el electrodo central en la cámara de ionización, pudiéndose medir corrientes del orden de 10^{-16} amperios, o sea, corrientes eléctricas de intensidad mucho menor que las medibles con galvanómetros o incluso con circuitos electrónicos.



A la izquierda, cámara de ionización. Consta de un recipiente cilíndrico cuya pared conductora es mantenida a potencial positivo respecto al electrodo central, negativo. Los electrones y los iones positivos que se forman del gas ionizado se dirigen respectivamente hacia la pared y hacia el electrodo central. A la derecha, esquema del electrómetro de Lindemann. Un sistema de fibra de cuarzo está en equilibrio entre las placas conductoras a potencial positivo y negativo. Cuando las fibras están unidas al electrodo central, varían su potencial de equilibrio.



cundaria" amplifica la señal, haciendo más sensibles los reveladores.

Los contadores Geiger han sido utilizados en la búsqueda de minerales para revelar la presencia de uranio, un elemento radiactivo utilizado en los reactores nucleares y en las bombas atómicas. Reveladores todavía más sensibles son necesarios para "ver" los productos de la colisión a alta energía, que tiene lugar en el interior de los aceleradores de partículas (máquinas que permiten a los científicos estudiar las partículas subatómicas haciéndolas chocar y siguiendo las trazas de los fragmentos en que se dividen tras la colisión). La cámara de niebla y la cámara de burbujas fueron dos de los primeros reveladores de partículas basados en este

principio, pero los aquí descritos o mencionados se han quedado un tanto obsoletos con el desarrollo de reveladores ultrasensibles como el contador de centelleo. Sea cual sea el tipo de revelador y la sensibilidad, todos estos aparatos se basan todavía en un hecho fundamental: la ionización de los átomos por efecto del choque entre partículas a alta velocidad.

Véase **Acelerador de partículas; Átomo; Cámara de burbujas; Cámara de niebla; Contador de centelleo; Contador Geiger; Iones**



Isótopos

Se sabía desde hace tiempo que las plantas verdes toman el agua del suelo y dióxido de carbono del aire. Absorbiendo la energía solar, las plantas transforman estas sustancias en alimentos y liberan oxígeno, pero no se sabía si el oxígeno desprendido procedía de las moléculas de agua o de las del dióxido de carbono.

Esta cuestión, que es la clave del proceso de *fotosíntesis*, no tuvo respuesta hasta el año 1941. En ese año, un grupo de científicos anunció que había utilizado una forma rara, o *isótopo*, de oxígeno para "etiquetar" los átomos con el fin de poder seguirlos a lo largo de la compleja cadena de reacciones y procesos que tenían lugar en la planta. Con este sistema, llamado de *trazas isotópicas*, los científicos estaban en condiciones de conocer y estudiar las distintas etapas de la fotosíntesis. En efecto, lograron establecer que los átomos de oxígeno liberados en el proceso de fotosíntesis provienen del agua absorbida a través de las raíces y no del dióxido de carbono absorbido por las hojas.

Los *isótopos trazadores* son átomos radiactivos que pueden ser localizados mediante un detector de radiactividad. En el caso que hemos visto se trataba del isótopo de oxígeno 18.

La estructura de los átomos Los isótopos son tipos de átomos de un mismo elemento químicamente idéntico, pero con núcleos diferentes.

Todos los átomos de un mismo elemento tienen el mismo número de protones (*número atómico*) en el interior del núcleo. El oxígeno, por ejemplo, tiene un número atómico igual a 8, lo que equivale a decir que en su núcleo existen 8 protones.

La tabla situada a la derecha indica algunos de los principales radioisótopos empleados en Medicina, en

metalurgia, en la producción de energía nuclear y en la datación de rocas y fósiles. En el segundo esquema, situado en la

Sin embargo, no todos los átomos de un mismo elemento contienen el mismo número de neutrones. El número total de protones y neutrones del núcleo es llamado *número de masa* del átomo, que es otro número importante para identificar los átomos: los isótopos de un elemento tienen el mismo número atómico, pero número de masa diferente. El número de masa se suele escribir inmediatamente después del nombre del elemento, de manera que queda identificado el isótopo correspondiente: oxígeno 18, por ejemplo, es el isótopo del oxígeno con número de masa 18; si se usa el símbolo del átomo, el número de masa se escribe en la parte superior izquierda: ^{18}O . En términos precisos, cada especie atómica individual es llamada *núclido*, mientras que si se trata de dos o más son llamados isótopos.




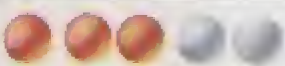


Radioisótopos Algunos isótopos, como el oxígeno 18 y el carbono 14, son






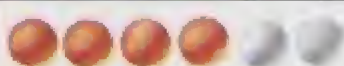

radiactivos. Los *átomos radiactivos* son átomos cuyos núcleos son inestables: se transforman en otros núcleos espontáneamente, emitiendo una o más partículas de distinto tipo, según el átomo de procedencia. El tiempo necesario para que el número de isótopos radiactivos presentes en un momento dado se reduzca a un valor igual a la mitad del inicial se llama *período de semidesintegración*. Diferentes isótopos radiactivos tienen períodos de semidesintegración diferentes, por ejemplo, el del ^{60}Co es igual a 5 años y 1/3, mientras que el del ^{14}C es de 5.570 años.

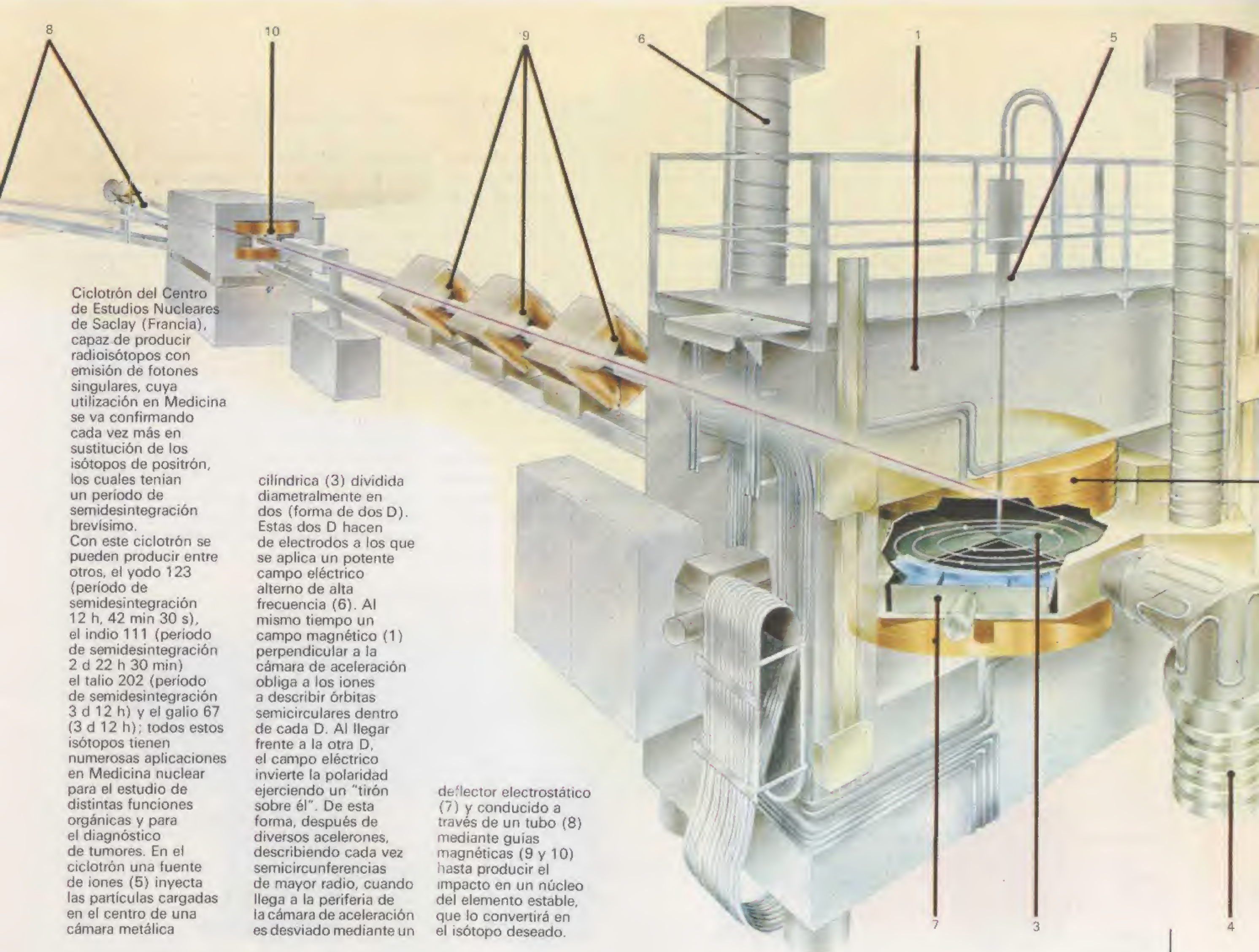
De algunos elementos químicos, como el flúor y el aluminio, no se encuentran isótopos en la Naturaleza; la mayor parte de los elementos tienen, sin embargo, isótopos naturales mezclados entre ellos en distintas proporciones. Una muestra común de cloro, por ejemplo, está formada por cerca de tres cuartos de cloro 35 y por un cuarto de cloro 37. Los isótopos de

parte inferior, están indicados en orden progresivo los componentes de los núcleos de los isótopos de litio y de berilio, en rosa los protones, en gris, los neutrones. Mientras los protones están siempre presentes en igual número para un determinado elemento, el número de neutrones varía para cada isótopo; por lo general sólo son estables los isótopos en los que el número de protones es igual, o se diferencia en uno, del número de neutrones. De los dos isótopos naturales de litio, el más abundante en la Naturaleza es el ^7Li (cerca del 92,5%). El berilio, sin embargo, no tiene isótopos naturales.

Radioisótopo	Período de semidesintegración	Utilización
^3H (artificial)	12,26 a	aplicaciones biológicas y médicas
^{14}C (natural)	5.570 a	determinación de la edad de las muestras que contienen carbono
^{18}F (artificial)	112 min	aplicaciones en Medicina (radiología) de huesos
^{32}P (artificial)	14,22 d	aplicaciones en Medicina
^{35}S (artificial)	87,1 d	aplicaciones biológicas
^{40}K (natural)	$1,25 \times 10^9$ a	determinación de la edad de las rocas
^{45}Ca (artificial)	164 d	aplicaciones biológicas
^{60}Co (artificial)	5,24 a	aplicaciones en Medicina (radioterapia) y en conservación de los alimentos
^{90}Sr (artificial)	27,7 a	estudios biológicos y medida del espesor de finas láminas metálicas
^{90}Y (artificial)	6,04 h	aplicaciones en Medicina (radiología hepática)
^{131}I (artificial)	8,06 d	aplicaciones en Medicina (estudio del metabolismo)
^{137}Cs (artificial)	30 a	aplicaciones en Medicina (radioterapia) y radiografía de metales
^{198}Au (artificial)	2,69 d	aplicaciones en Medicina
^{197}Hg (artificial)	2,7 d	aplicaciones en Medicina (radiología renal)
^{200}Hg (artificial)	46,5 d	aplicaciones en Medicina
^{210}Po (artificial)	138 d	producción de energía en los satélites artificiales
^{233}U (artificial)	$1,62 \times 10^5$ a	producción de energía por fisión nuclear
^{235}U (natural)	$7,13 \times 10^8$ a	producción de energía por fisión nuclear
^{238}U (natural)	$4,40 \times 10^9$ a	producción de energía por fisión nuclear
^{238}Pu (artificial)	86,4 a	fuelle de energía de los estimulantes cardiacos
^{239}Pu (artificial)	24.360 a	producción de energía por fisión nuclear

LITIO	
	
	A
^6Li se desintegra después de 10^{-21} segundos	
	N
^6Li estable	
	N
^7Li estable	
	A
^8Li se desintegra después de 0,89 segundos	
	A
^9Li se desintegra después de 0,17 segundos	
N: natural A: artificial	

BERILIO	
	
	A
^8Be se desintegra después de 10^{-21} segundos	
	A
^9Be se desintegra después de 52,9 días	
	A
^{10}Be se desintegra después de 10^{-16} segundos	
	N
^{11}Be estable	
	A
^{12}Be se desintegra después de $2,5 \times 10^{-6}$ años	
	A
^{13}Be se desintegra después de 13,6 segundos	



Ciclotrón del Centro de Estudios Nucleares de Saclay (Francia), capaz de producir radioisótopos con emisión de fotones singulares, cuya utilización en Medicina se va confirmando cada vez más en sustitución de los isótopos de positrón, los cuales tenían un período de semidesintegración brevísimo. Con este ciclotrón se pueden producir entre otros, el yodo 123 (período de semidesintegración 12 h, 42 min 30 s), el indio 111 (período de semidesintegración 2 d 22 h 30 min) el talio 202 (período de semidesintegración 3 d 12 h) y el galio 67 (3 d 12 h); todos estos isótopos tienen numerosas aplicaciones en Medicina nuclear para el estudio de distintas funciones orgánicas y para el diagnóstico de tumores. En el ciclotrón una fuente de iones (5) inyecta las partículas cargadas en el centro de una cámara metálica

cilíndrica (3) dividida diametralmente en dos (forma de dos D). Estas dos D hacen de electrodos a los que se aplica un potente campo eléctrico alterno de alta frecuencia (6). Al mismo tiempo un campo magnético (1) perpendicular a la cámara de aceleración obliga a los iones a describir órbitas semicirculares dentro de cada D. Al llegar frente a la otra D, el campo eléctrico invierte la polaridad ejerciendo un "tirón sobre él". De esta forma, después de diversos acelerones, describiendo cada vez semicircunferencias de mayor radio, cuando llega a la periferia de la cámara de aceleración es desviado mediante un

deflector electrostático (7) y conducido a través de un tubo (8) mediante guías magnéticas (9 y 10) hasta producir el impacto en un núcleo del elemento estable, que lo convertirá en el isótopo deseado.

todos los elementos pueden producirse en el laboratorio, pero el período de semidesintegración de muchos de éstos es tan corto que se desintegran rápidamente, transformándose en elementos más estables. Es posible crear artificialmente diversos isótopos de flúor, por ejemplo, pero los valores de su período de semidesintegración van de casi dos horas para el flúor 18, a menos de una billonésima de segundo para el flúor 16.

Determinación de fechas e isótopos trazadores El hecho de que los radioisótopos sean químicamente idénticos a sus "hermanos" no radiactivos les hace extremadamente útiles para muchas aplicaciones: por ejemplo, para la determinación de edades geológicas y arqueológicas el radioisótopo empleado con mayor frecuencia es el carbono 14. Este radioisótopo está presente en la atmósfera de manera continua gracias a ciertas reacciones nucleares producidas por radiaciones de alta energía procedentes del espacio exterior: los rayos cósmicos. Debido a que el carbono 14 es químicamente idéntico al carbono 12, que forma casi el 99% de todo el carbono de la Tierra, pequeñas partes porcentuales de carbono 14 se encuentran

donde quiera que haya carbono 12, como por ejemplo en el dióxido de carbono. Este se está transformando continuamente en alimento de las plantas, y, por tanto, cada forma de vida vegetal (y también cada forma de vida animal que depende de las plantas para su alimentación) contiene una pequeña porción, pero en cantidad calculable, de carbono 14. En el momento de la muerte del organismo animal o vegetal, sin embargo, la captación de carbono 14 cesa y la pequeña porción que está presente comienza a disminuir a medida que éste se desintegra. Puesto que los científicos conocen el valor aproximado de la cantidad de carbono 14 original, su velocidad de desintegración y la cantidad de carbono presente en el momento de la medida, pueden calcular aproximadamente cuánto tiempo ha pasado desde que murió el organismo.

Los radioisótopos se utilizan también para trazar los recorridos de los átomos en los organismos vivientes. El conocimiento completo de los detalles del proceso de fotosíntesis por medio del oxígeno 18 representa un ejemplo de la detección de trazas isotópicas en un organismo vegetal. Pero las trazas isotópicas se utilizan también en Medicina para seguir el funciona-

miento de ciertos procesos biológicos en el organismo humano. Debido a que los isótopos son idénticos en sus propiedades químicas, es necesario emplear técnicas especiales para separarlos. Las técnicas de separación se basan en el hecho de que un isótopo dado es ligeramente más o menos pesado que otro. La utilización de filtros de malla extremadamente tupida es un método utilizado actualmente para la separación de isótopos: los isótopos más ligeros se difunden a través de estos filtros con mayor velocidad que los más pesados. Otro método es la utilización del llamado *espectrógrafo de masas*: un campo magnético dirige el recorrido de un haz de iones de los isótopos en movimiento; los isótopos más pesados experimentan menos desviación que los más ligeros. Otros métodos utilizados son: el electroquímico, empleado sobre todo en la separación del agua pesada; la ultracentrifugación; la destilación fraccionada; la utilización de reacciones de intercambio y la separación mediante difusión de compuestos gaseosos de los distintos isótopos.

Véase Acelerador de partículas; Acelerador lineal; Atomo; Combustible nuclear; Elementos; Radiactividad

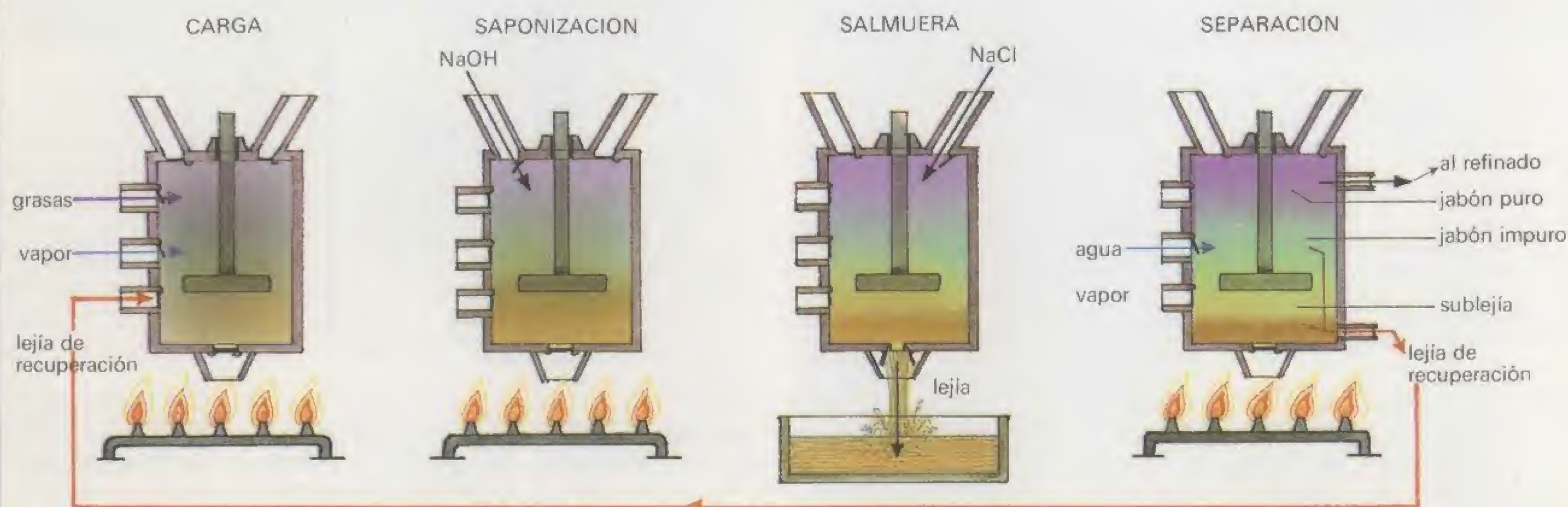
Jabón

En los tiempos prehistóricos, cuando la gente quería lavarse, probablemente lo hacía con una mezcla de agua y cenizas y luego se ungía con aceites para aliviar la piel irritada; en seguida alguien descubrió cómo tratar las cenizas de madera con sustancias grasas, realizando burdamente el primer método para fabricar el jabón. Este método permaneció casi invariado durante siglos (descubrimientos arqueológicos dan testimonio de su uso en los tiempos de la antigua Roma). Fueron necesarias dos invenciones francesas para elevar la fabricación del jabón a un nivel más científico: el descubrimiento hecho en 1791 por Nicolas Leblanc del proceso para obtener carbonato sódico a partir de la sal común y el hallazgo por parte de Michael Chevreul, en 1823, de la estructura, naturaleza y composición de los ácidos grasos, ingredientes fundamentales del jabón.

lución cáustica (lejía) a lo largo de varias horas. Al final de la saponización se añade salmuera, hasta que el jabón se separa y flota en la superficie. Del fondo se extrae la lejía, que contiene la glicerina. El jabón se lava y se le añade una solución alcalina, dejando hervir la masa durante cinco horas. A continuación se le añade más solución alcalina, hasta que el jabón se separa de la lejía a medio consumir. Por último, el jabón se "ajusta" haciéndolo hervir una vez más y añadiendo salmuera. Cuando se deja reposar, se separan tres capas: la superior es el *jabón fino* puro, la intermedia consiste en *jabón bruto*, impuro, y en el fondo se deposita la *lejía bruta*.

Algunos jabones resultan ligeramente "engrasados" con la adición de pequeñas cantidades de grasas no neutralizadas (por ejemplo, lanolina), lo que asegura —al emplearlos en la higiene personal— una acción delicada sobre la piel.

Los usos del jabón Los jabones solubles en agua, hechos de sales de sodio, potasio o aminas (derivados del amoníaco), son ampliamente usados en las espumas para afeitado, en los champúes y en los jabones de baño. Los jabones de aminas constituyen también la base para muchas cremas en la industria cosmética. Pueden también ser utilizados para limpiar los metales, para lavar en seco los tejidos y para impedir la herrumbre. Los jabones metálicos, formados por sales de aluminio, magnesio, cinc, plomo o cobre, pueden ser disueltos en líquidos orgánicos en vez de agua; son utilizados como secantes para barnices, como grasas lubricantes, agentes para gelificar, para impermeabilizar y para hacer el cuero resistente a los hongos. A causa de la sensibilidad del agua dura, el uso del jabón en el lavado de la ropa prácticamente ha desaparecido en favor de los detergentes sin-



Fabricación del jabón Las materias orgánicas utilizadas para la fabricación del jabón son fundamentalmente las grasas y los aceites (vegetales o animales), y el proceso se basa en la hidrólisis de estos elementos y en la saponización de los ácidos grasos que se liberan.

Los procesos basados en la hidrólisis centran su acción en la hidrólisis de grasas y procuran un alto rendimiento en la producción de glicerina. La saponización puede realizarse mediante dos métodos: saponización en frío (válido para aceites —en particular, el de coco—, ya que las grasas no se saponifican bien) y saponización en semifrío o semicocido (que se lleva a cabo fundamentalmente en laboratorio).

Hoy en día, la fabricación del jabón se realiza en grandes calderas de acero, donde se introducen las grasas fundidas; éstas son calentadas con vapor de agua a medida que se añade poco a poco la so-

Acción detergente Las propiedades detergentes de los jabones se atribuyen a los siguientes factores; la saponización parcial de las grasas con los álcalis que se liberan en la hidrólisis de los jabones; la disminución de la tensión superficial del agua, con lo que ésta puede introducirse fácilmente entre las fibras de los tejidos; y, por último —aunque no menos importante—, el arrastre mecánico de la espuma.

Las moléculas de los jabones detergentes están formadas de una parte hidrocarbúrica (de naturaleza afín a las sustancias grasas y oleosas) y de otra parte llamada *polar* (capaz de disolverse en el agua). Cuando se añade al agua el detergente, las moléculas se sitúan por su extremo hidrocarbúrico sobre la grasa y la van solubilizando. Gracias a la agitación, las partículas de grasa rodeadas de detergente se mantienen flotando en el agua, sin depositarse sobre la fibra textil.

Arriba, esquema del proceso de fabricación del jabón: inicialmente se carga la caldera con las grasas disueltas mediante inyecciones de vapor, a continuación se agrega el álcali (sosa cáustica), y la disolución se mantiene en ebullición por

algunas horas. Después se añade la salmuera, produciéndose la separación del jabón bruto y la lejía. En ulteriores tratamientos, con vapor y más salmuera, se obtiene la purificación del jabón que es luego refinado.

téticos. Cuando la parte hidrófila del jabón reacciona con el calcio y el magnesio en el agua, se forma un jabón no soluble, con grumos de jabón que se depositan en el lavabo y en la bañera y que dan a los tejidos una textura rígida y grisácea.

Véase **Ácidos y bases; Detergente**

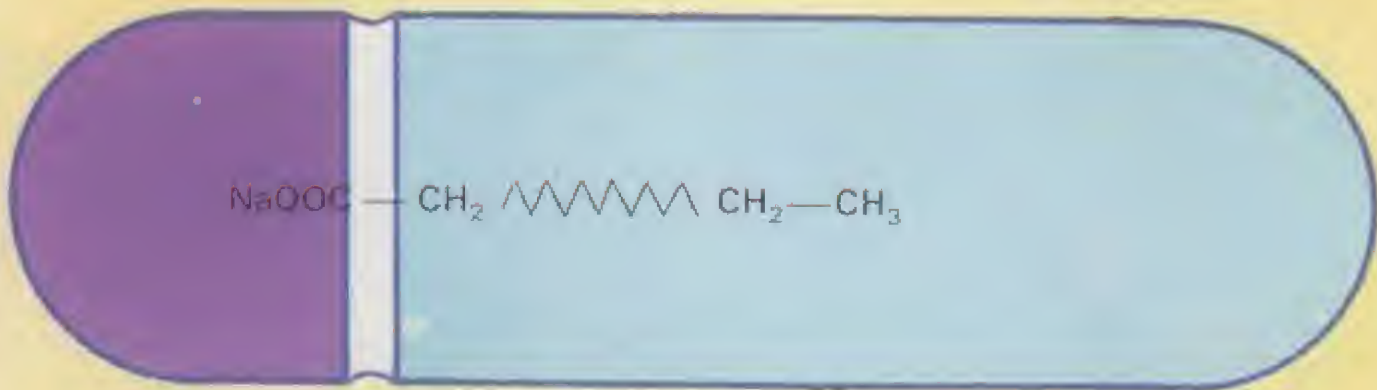
a su extremo hidrocárbúrico, siendo atraídas también por el agua a causa de su extremo polar. De este modo las partículas de suciedad pasan a estar en suspensión en el agua jabonosa y terminan por ser atraídas por la espuma. La formación de esta última es a su vez estimulada por las moléculas de jabón que se colocan en la superficie del contacto aire/agua, facilitando así la formación de burbujas.

a su extremo hidrocárbúrico, siendo atraídas también por el agua a causa de su extremo polar. De este modo las partículas de suciedad pasan a estar en suspensión en el agua jabonosa y terminan por ser atraídas por la espuma. La formación de esta última es a su vez estimulada por las moléculas de jabón que se colocan en la superficie del contacto aire/agua, facilitando así la formación de burbujas.

Diagrama que muestra tres burbujas de jabón (esferas azules) que se tocan en un punto central. En cada burbuja se encuentran partículas de las interfases (estructuras amarillas). Una etiqueta indica: "BURBUJAS DE JABON Y PARTICULAS DE LAS INTERFACES".

En la parte inferior, se muestra un detalle de la interfase entre dos fases (amarilla y blanca), donde las partículas de jabón (estructuras amarillas) se sitúan en la interfase, formando una capa monomolecular.

MOLECULA DE JABON



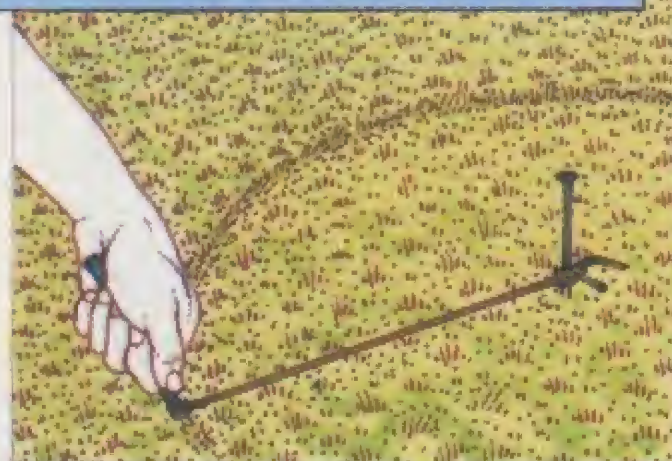
The diagram illustrates the structure of a soap molecule, which is a long-chain alkyl salt. It is represented as a horizontal capsule with a purple head and a light blue tail. The chemical formula $\text{NaOOC}-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_{13}$ is written across the middle, where the wavy line represents the hydrocarbon chain. The purple head corresponds to the carboxylate group ($\text{NaOOC}-\text{CH}_2-$), and the light blue tail corresponds to the hydrocarbon chain (C_6H_{13}).

$$\text{NaOOC}-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}_3$$

agua jabonosa

Jardinería y horticultura

PLANTACION DE UN ARBOL



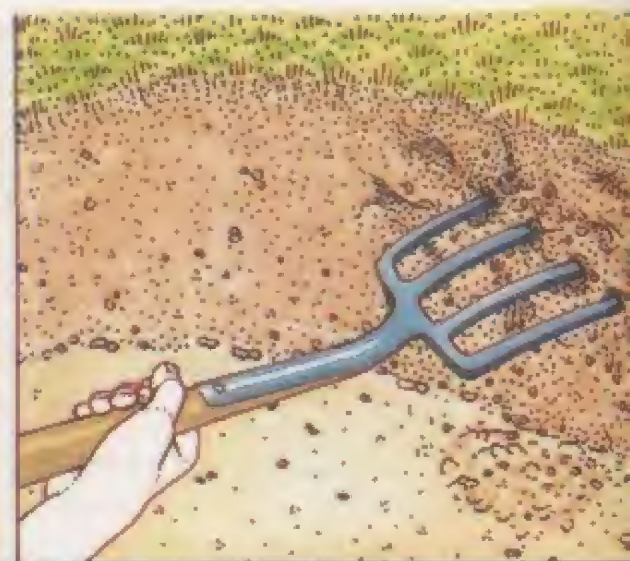
marcar un círculo en el césped



quitar la capa de hierba



cavar un hoyo



entrecavar las paredes

El arte de la jardinería es antiguo y universal, tanto como la misma civilización. Entre los pueblos antiguos, los persas tenían bellísimos jardines acuáticos. Son famosos los *pensiles* o jardines colgantes de Babilonia dispuestos en terrazas escalonadas que se regaban con las aguas del Éufrates. Los egipcios crearon jardines ligados a su arquitectura, rígidamente geométricos y con estanques, canales, etc. La jardinería es un arte milenario en China de donde pasó a Japón, que creó un estilo característico basado en la reproducción —en pequeños espacios— de rincones de la Naturaleza. El jardín islámico deriva del persa y en él se mezclan imaginación, colores, aromas y agua. Ejemplo de ello son los jardines de la Alhambra y el Generalife, de Granada, y los de Bagdad. En la corte de Luis XIV los artistas realizaron diseños espléndidos de jardines reales, como los de Versalles.

En cuanto a la horticultura, desde hace mucho tiempo existe por todo el mundo una gran variedad de hortalizas cultivadas. Los romanos introdujeron en Europa las riquezas vegetales del mundo mediterráneo. Con la caída del Imperio Romano, la horticultura empezó a desarrollarse en los monasterios, viéndose enormemente enriquecida más tarde por nuevas plantas traídas de América.

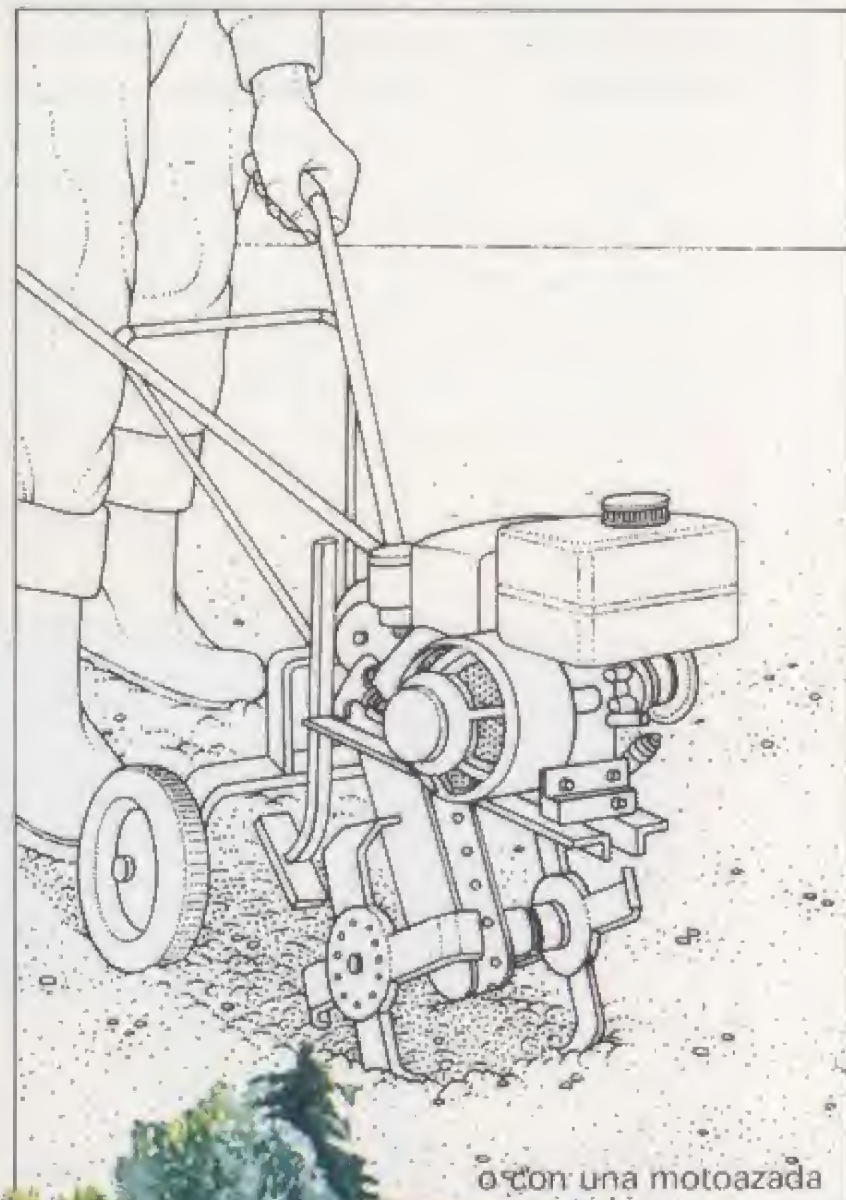
Planificar antes de plantar Es importante planificar la organización del jardín o huerto antes de empezar cualquier trabajo. En primer lugar hay que saber elegir el tipo de plantas que se quiere cultivar, de acuerdo con los gustos personales, las condiciones ambientales de luz y temperatura, el espacio disponible, etcétera.

A veces se puede compaginar el cultivo de plantas de adorno, que proporcionan belleza a ciertos rincones, con el cultivo de verduras, frutas u hortalizas, algu-

LA PREPARACION GENERAL DEL TERRENO



roturar con una laya



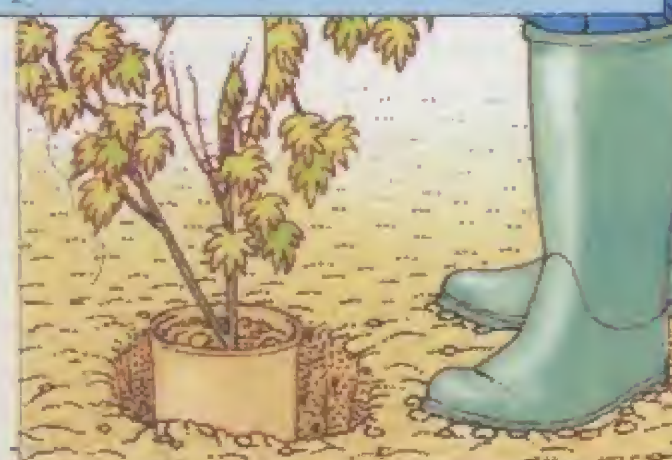
o con una motoazada

La presencia de un huerto puede dar aspecto agradable a un espacio siempre que el área dedicada a las hortalizas se sitúe de una forma ordenada y armoniosa. El huerto se puede situar



delante o detrás de la casa, y se puede elegir entre la clásica forma rectangular o la circular, poligonal, etc. Para cerrarlo, se pueden emplear muros o setos. Es importante que esté bien soleado y protegido del viento.

PLANTACION DE UN ARBUSTO



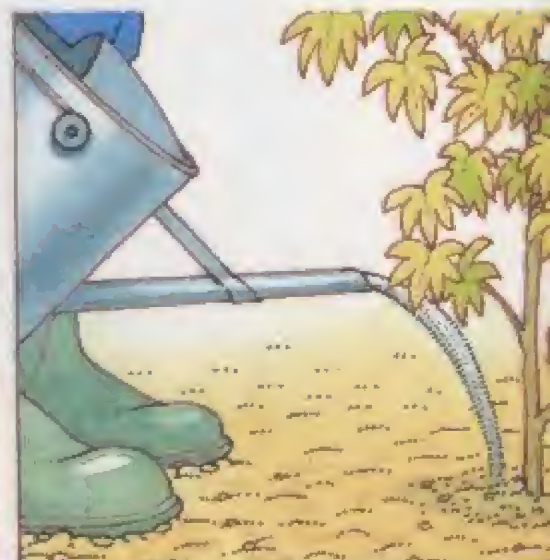
cavar un hoyo y tantear su profundidad



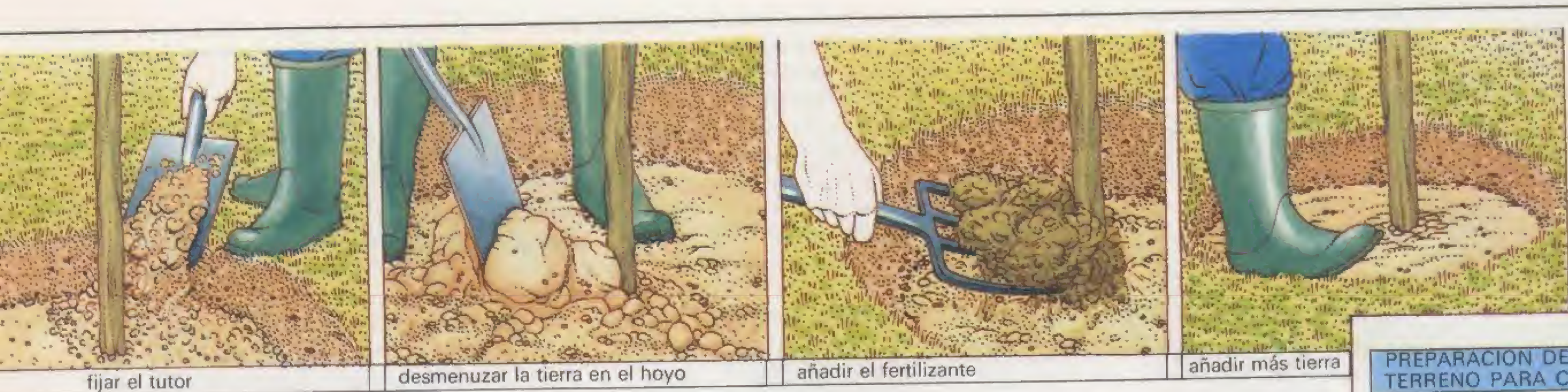
sacar la planta del tiesto



colocarla en el hoyo y cubrirla de tierra



regar



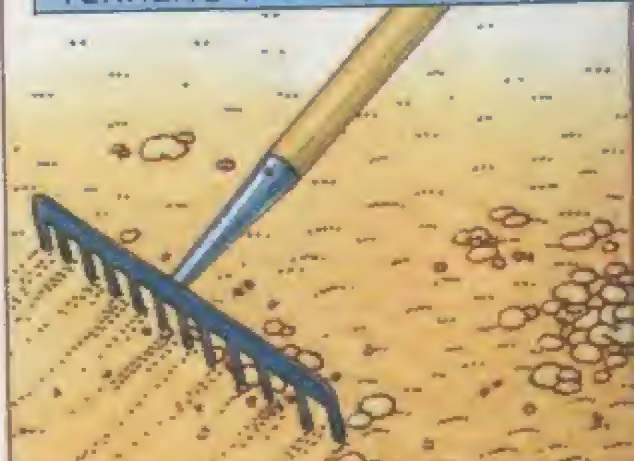
fijar el tutor

desmenuzar la tierra en el hoyo

añadir el fertilizante

añadir más tierra

PREPARACION DEL TERRENO PARA CESPED



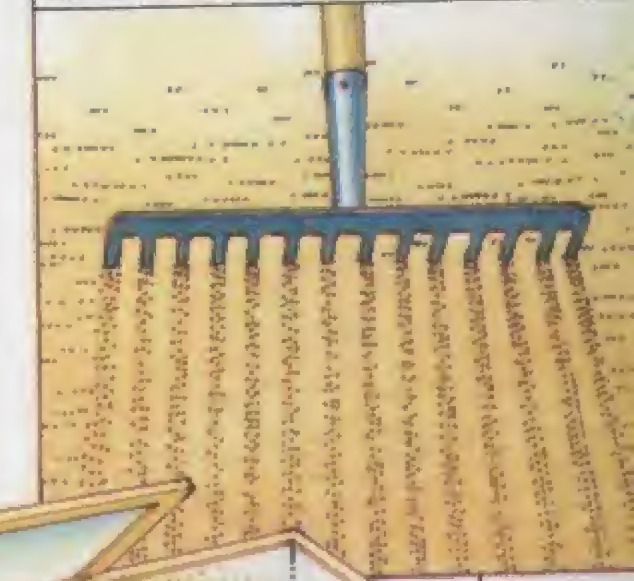
quitar las piedras



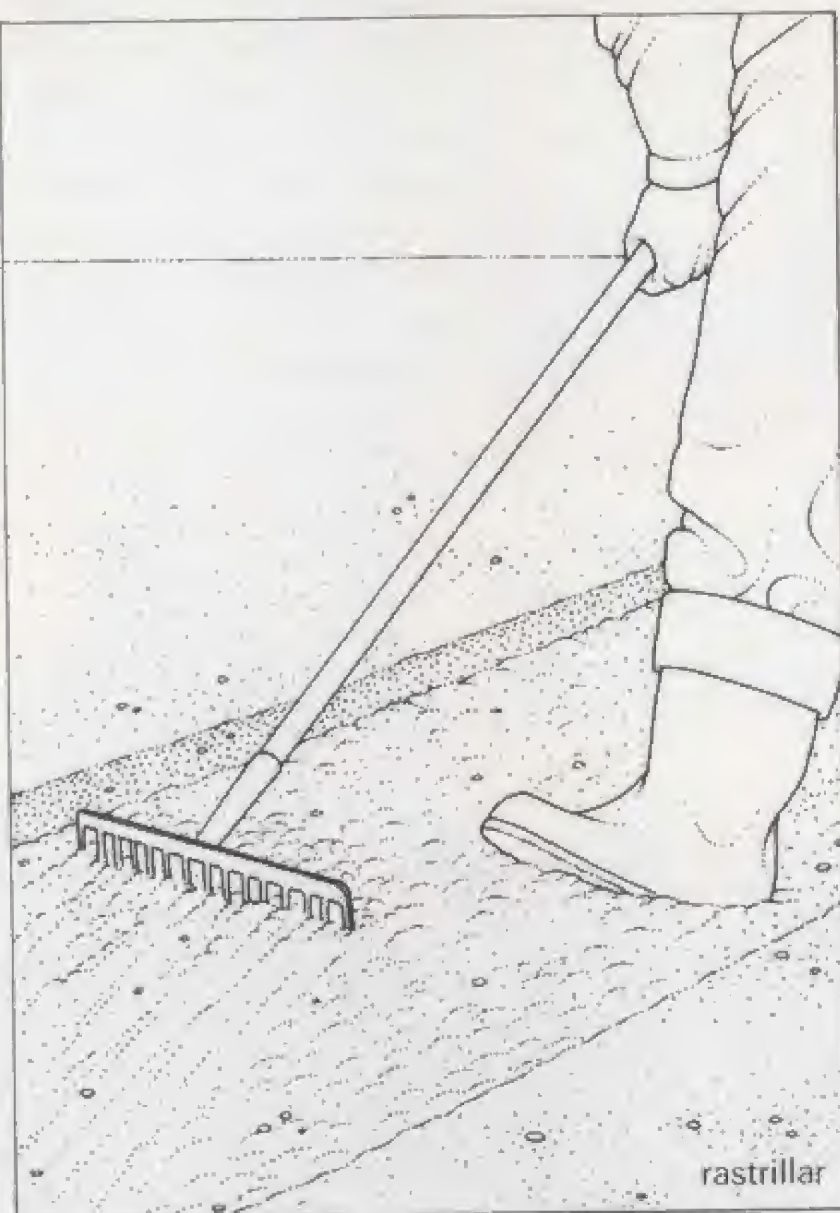
nivelar el suelo con un rodillo



y en los sitios difíciles, con los pies
añadir el fertilizante y extenderlo



extender el fertilizante



rastrillar

nas de las cuales compiten en belleza con las flores más vistosas.

Una vez elegidas las plantas, se realiza una detallada planimetría del espacio a cultivar, teniendo en cuenta las dimensiones de las plantas y el lugar que deberá ocupar cada cultivo. Las plantas que crecen en altura no tienen que quitar la luz del Sol a las que son más bajas. Las que se extienden en horizontal, como las cepas de vid y los melones, precisan espacio suficiente para no invadir el de otras plantas.

Preparación del suelo Antes de sembrar hay que roturar el terreno. A continuación se remueve la tierra y se ablanda, de modo que las plantas puedan extender sus raíces con facilidad. Esto ayuda también a mejorar la capacidad del

suelo para absorber aire y agua rápidamente y sin esfuerzos. Después de haber cavado bien el terreno, hay que darle uniformidad y nivelarlo con un rastrillo.

Añadiendo materia orgánica y abono se mejora el valor nutritivo del suelo. El abono se puede elaborar con cualquier materia vegetal en descomposición, incluyendo también lo que no se aprovecha de las hortalizas y las hojas caídas en otoño. A veces este abono se extiende por encima del suelo, formando una capa que se llama *mantillo*. Utilizando este sistema se impide que la superficie se ponga dura y forme una costra, y asimismo se evita la evaporación del agua y el crecimiento de las malas hierbas.

Si el terreno es fértil por naturaleza, el horticultor puede tener buenas cosechas con sólo añadir un poco de abono que sir-

Para hacer un jardín y conservarlo todos los años, es indispensable preparar bien el terreno. Lo mejor es empezar las tareas en otoño, y terminarlas en primavera, antes de la siembra. Si el terreno no se ha cultivado nunca, hay que removerlo hasta una profundidad de al menos 70 cm. Se empieza rompiendo con una pala los terrones endurecidos, o bien, si el terreno tiene unas dimensiones considerables, con una motoazada. Después se extienden el abono y los demás compuestos nutritivos, y se nivela con un rastrillo. A continuación se puede sembrar, cubriendo las semillas con una ligera capa de tierra para protegerlas del viento. Muchas veces es preferible emplear plantas jóvenes en lugar de semillas; estas plantas crecen en las almácigas (cajones de madera tapados con cristalerías para conservar el calor) y, cuando han alcanzado suficiente vigor, se transplantan a su emplazamiento definitivo en el jardín o huerto. En estas dos páginas se ilustran determinadas labores esenciales de preparación del terreno y otras que no pueden faltar en cualquier jardín que se respete, en donde seguramente se querrá plantar algún árbol o arbusto y dedicar una zona a césped.

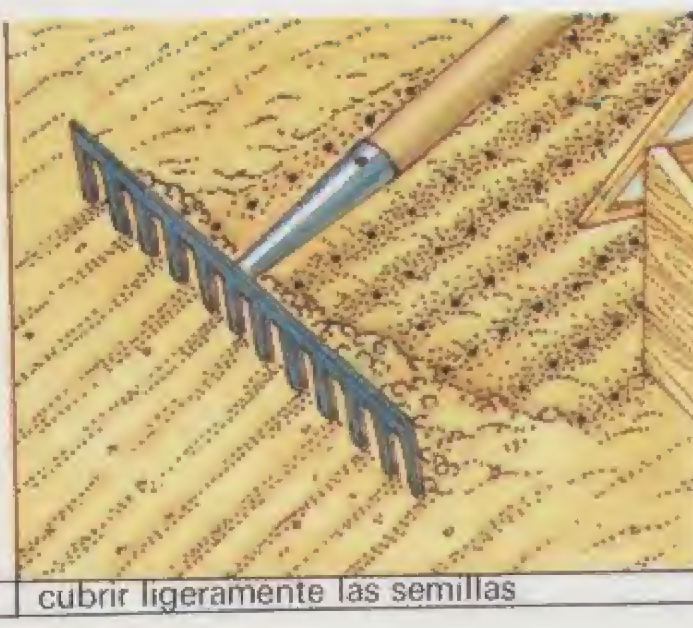
LA SIEMBRA



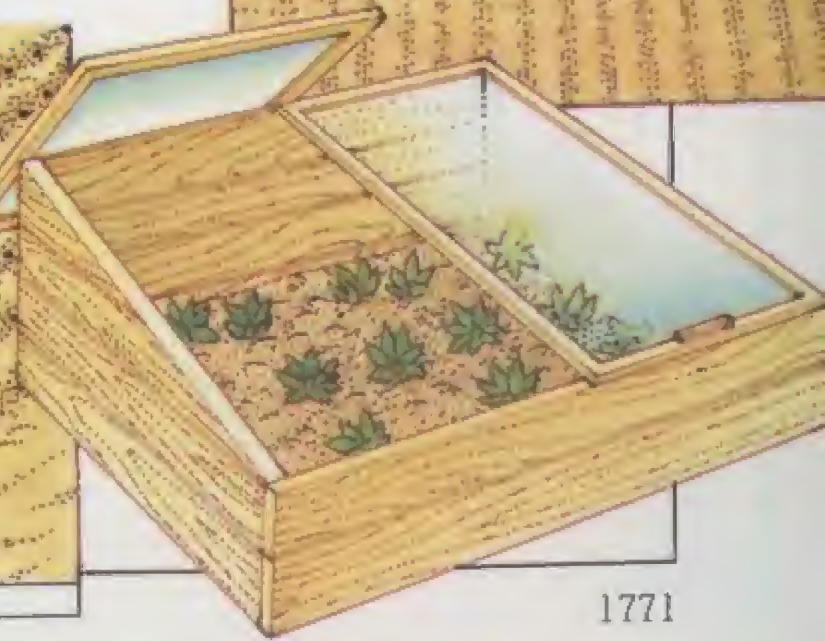
siembra a voleo



siembra en líneas



cubrir ligeramente las semillas



Para un jardín rocoso no hace falta disponer de mucho terreno, pero tiene que ser bastante accidentado, con pendientes, escarpes y elevaciones naturales o artificiales. La segunda condición es que el terreno tenga un buen drenaje, ya que las plantas rupícolas no soportan el agua estancada o el exceso de humedad. Las especies que se pueden plantar en un jardín rocoso son muy variadas y dependen del emplazamiento del jardín. Un jardín rocoso expuesto al norte es adecuado para plantas de tipo alpino, que prefieren ambientes frescos; un jardín rocoso localizado en

una zona climática cálida o templada expuesta al sur o suroeste es adecuado para las plantas de tipo tropical. El resultado estético y funcional del jardín dependerá del cuidado que se ponga en el emplazamiento y la distribución de las plantas. Al lado de los estanques y pequeñas cascadas se recomiendan las plantas, como los botones de oro, las primaveras, las soldanelas, etc., que prefieren lugares húmedos y sombríos. Entre las fisuras de las rocas resultan muy vistosas las manchas de color de las *Androsace*, *Silene*, *Arabis*, *Saxifraga* e *Iberis*, que forman penachos o

va como un alimento más; pero es frecuente que se haga necesario el empleo de estiércol o fertilizantes industriales como suplemento. Los tubérculos, por ejemplo, suelen necesitar potasa, mientras que para el desarrollo de tallos y hojas hay que suministrar nitrógeno.

Una labor importante son los trasplantes. Algunas plantas reaccionan mejor que otras ante esta operación. El trasplante de pequeñas plantas o esquejes en una huerta se tiene que realizar con sumo cuidado para no dañar las raíces. Una vez plantadas, las raíces necesitan varios centímetros de lluvia semanales o un riego equivalente. Siempre resulta mejor empaquetar bien la tierra una vez a la semana en lugar de rociar una poca cada día; debemos asegurarnos de que las raíces de la planta absorben una cantidad suficiente de agua. El riego tiene que ser profundo y lento para que alcance las raíces sin dañarlas.

Pero cuando el jardinero u horticultor se tiene que esmerar de verdad es a la hora de escardar. La escarda consiste en remover la capa superior del terreno —hasta una profundidad de unos 10 cm como máximo— para romper la corteza superficial, airear el suelo y arrancar las malas hierbas. Si se efectúa con regularidad, esta operación no resulta difícil, ni lleva mucho tiempo.

La escarda es fundamental para que las plantas crezcan sanas, pues evita la proliferación de las malas hierbas que roban el agua, los nutrientes y la luz a los cultivos. Además, hay que hacer un seguimiento atento y regular para prevenir las enfermedades y las plagas ocasionadas por los insectos.

A veces se hace necesaria la utilización de insecticidas, que han de emplearse con prudencia y moderación, puesto que son tóxicos para las personas, los animales y determinadas plantas.

→ almohadillas en los muros divisorios. Hay una serie de pequeñas y delicadas plantas que crecen en seguida al lado de los enebros

y pequeños cipreses —no tan altos como para quitarles la luz—, puesto que las resguardan y protegen. Se puede buscar el

contraste entre el verde con distintos tonos de muchas plantas alpinas, el rojo del arce japonés y el rosa de los rododendros.

*Chamaecyparis
obtusata nana
gracilis*

*Primula
auricula*

*Campanula
medium*

*Juniperus
chinensis*

*Saxifraga
rudolphiana*

*Sedum
grandiflorum*

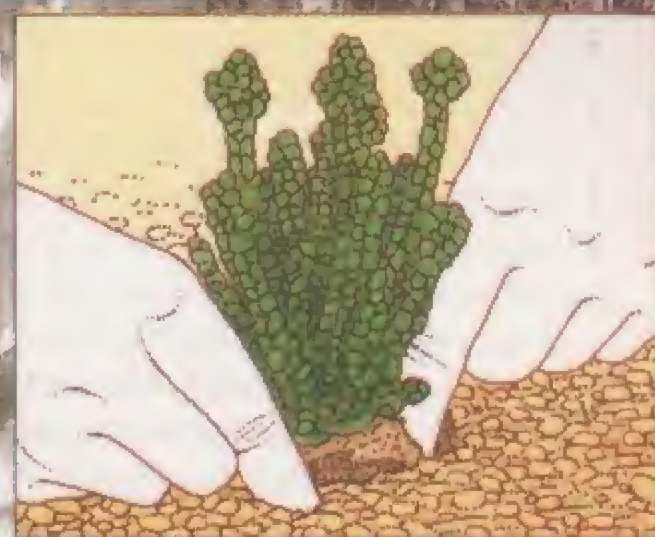
*Cerastium
latifolium*



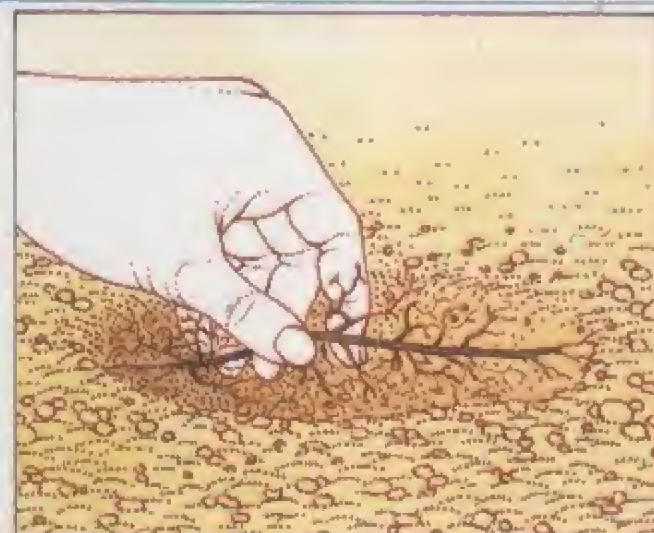
Los nuevos desarrollos Las compañías comerciales de semillas producen constantemente nuevas plantas. Estas sorprendentes variedades reciben el nombre de *novedades*, y en algunos casos son realmente "milagrosas". Producen legumbres más dulces, tomates más jugosos y rosas más rojas. Y, además, la investigación de las novedades está enfocada a menudo hacia la obtención de plantas más resistentes a las enfermedades, lo que reviste un especial interés, así como a la producción de plantas que ocupen poco espacio y proporcionen frutos más grandes —con unas medidas lo más homogéneas posible—, más sabrosos, más precoces en su maduración y más adaptables a las variaciones climáticas.

Véase **Flor; Fruto y árboles frutales; Herbicidas; Injerto; Insecticidas y otros plaguicidas; Invernadero; Plantas; Semillas**

Las plantas de hojas carnosas, que necesitan pocos cuidados y mucho sol, están presentes a menudo en los jardines rocosos. Cuando se trasplantan, hay que procurar que el hoyo sea bastante amplio.



También los helechos crecen bien en un jardín rocoso. Se puede plantar el rizoma estolonífero en un hoyo poco profundo, o bien introducir en una pared que esté a la sombra un pequeño helecho con su raíz, volviendo a colocar luego la piedra que se ha sacado previamente.



Jaquaca

El dolor de cabeza puede ser provocado por los factores más diversos: por el hambre, por la embriaguez, por una tensión psíquica, por una gripe o por un golpe en la cabeza. Estos ejemplos constituyen sólo estímulos inmediatos para la instauración del dolor de cabeza. No siempre resulta clara la relación que media entre esos factores y las causas directas: a veces, efectivamente, el dolor de cabeza aparece sin ninguna razón aparente.

Causas principales de la jaquaca Es un hecho conocido que el cerebro recibe las sensaciones dolorosas, pero no provoca dolor por sí mismo. En realidad, el estímulo doloroso parte de las arterias, de las venas y de las membranas cerebrales, y en este caso se trata de un *dolor indirecto*, o *reflejo*. Se tiene un dolor indirecto cuando un nervio no sensorial, como los nervios de los vasos sanguíneos, transmite un impulso a un nervio sensorial localizado en otra parte del organismo: por ejemplo, la frente. En este caso, la persona siente el dolor en la frente, si bien la

propia frente no es el lugar donde reside la causa (la aparición del dolor está provocada por un impulso electroquímico transmitido al cerebro por los nervios sensoriales).

La *cefalea*, o dolor de cabeza, puede estar provocada por la dilatación de las arterias (los vasos que llevan la sangre oxigenada del corazón a las distintas partes del cuerpo) situadas en el interior y en el exterior de la cavidad craneana. Este proceso, denominado *vasodilatación* (dilatación que puede ser debida a la liberación de algunas sustancias, como la acetilcolina, la histamina o la serotonina), no es suficiente por sí mismo para provocar la cefalea, pero con frecuencia se combina con procesos inflamatorios que, a su vez, estimulan las zonas terminales de los nervios que producen el dolor. La fiebre, algunos medicamentos, el ejercicio físico y la falta de oxígeno provocan vasodilatación, pero no siempre originan dolor de cabeza. Se supone, aunque no ha sido científicamente demostrado, que el hambre causa dolor de cabeza debido a la disminución de

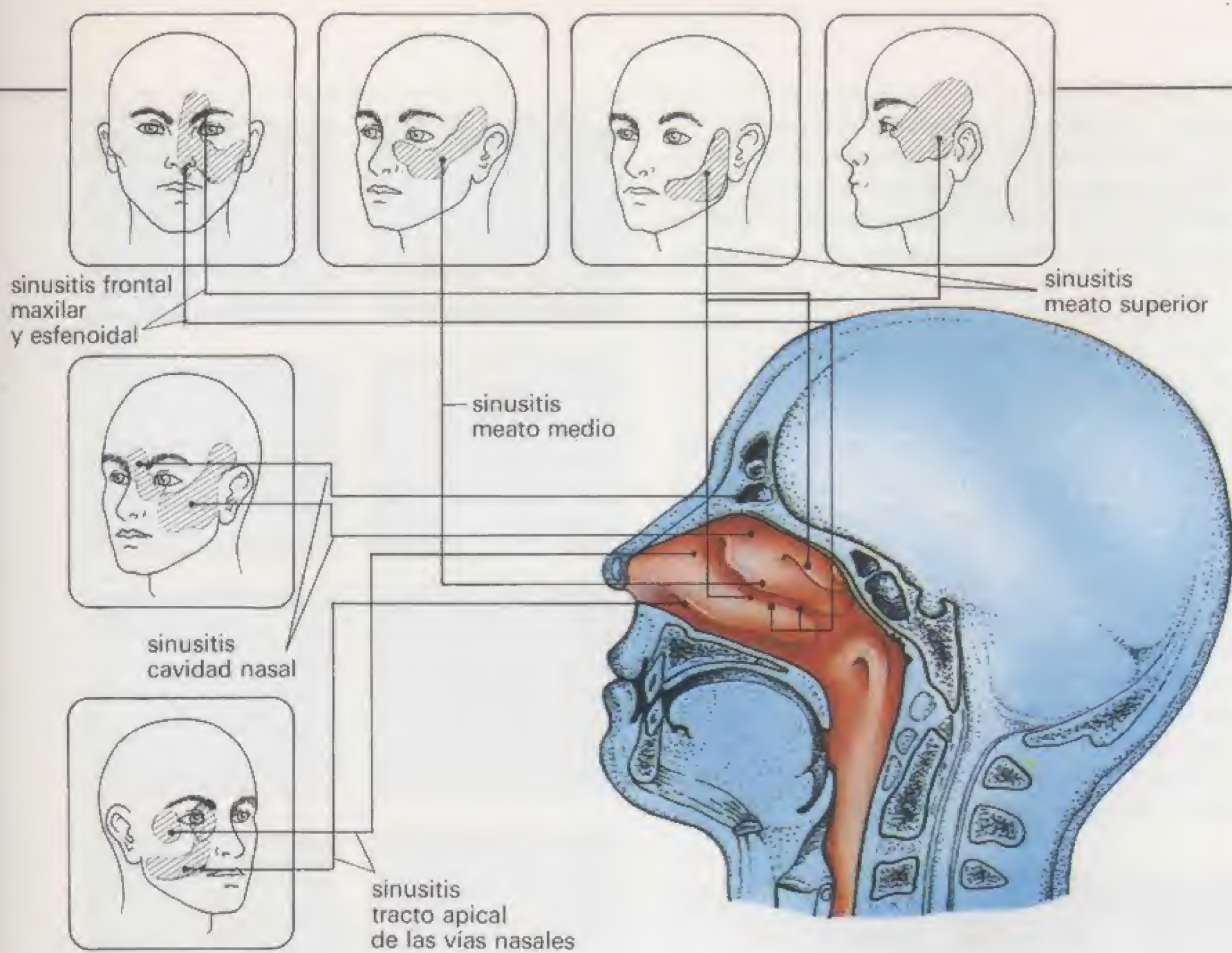
azúcar en la sangre, lo que origina una reacción vasodilatadora.

Una lesión ocupante de espacio, un tumor o una infección en el cerebro o cercana a él pueden provocar un estiramiento de las arterias y de las venas que lo circundan. Dado que el dolor es indirecto, la irritación de estructuras localizadas en zonas distintas puede provocar dolor en la misma área. Esto limita la utilidad del dolor en la localización de la enfermedad, si bien en un tercio de los casos la sede del dolor corresponde a la región afectada por la propia enfermedad.

Lo que se denomina *cefalea de tensión* (cefalea muscular) es un trastorno generalmente provocado por contracciones prolongadas de los músculos de la cara, del cuello y de la cabeza. Una posición incorrecta y un estado de ansiedad pueden originar este tipo de cefalea. La cefalea provocada por contracción muscular produce a menudo un dolor intenso y difuso. En el intento de aliviar el dolor provocado por un primer grupo de músculos tensos, se tiende a extender el cuello y los

TIPOS DE CEFALEA

	Jaquaca	Cefalea en racimos	Cefalea tensional	Cefalea por masas intracraneales	Cefalea de la arteritis temporal	Cefalea de la meningitis
Carácter del dolor	el dolor es inicialmente pulsátil, después puede hacerse fijo	intenso, lancinante, insoportable	el carácter del dolor no es específico; se tiene la sensación de una presión o de un estiramiento	profundo, persistente, sordo, de gravedad creciente	primero pulsante, después generalmente persistente e intenso sin particularidades concretas	grave, a veces pulsátil, intenso
Lugar	generalmente limitada a una mitad de la cabeza, en la región temporal, occipital, ocular	generalmente se manifiesta en un solo lado, en la región mediorbital, o en regiones próximas de la cara y cabeza	la situación más frecuente es bitemporal en forma de gorro, occipital, frontal	el dolor puede ser generalizado o corresponder al lugar de la masa intracraneal	a lo largo del recorrido de la arteria temporal, en las sienes, en la lengua	de localización occipital o generalizada
Recurrencia y duración	gradual o brusca, por la mañana temprano, a menudo durante los fines de semana; suele durar horas y se atenúa por la tarde	brusca, dura menos de veinte minutos, es estacional, los ataques pueden presentarse 2-4 veces por semana	gradual, sobre todo hacia la tarde; puede durar horas, semanas, meses	principalmente por la mañana; puede durar horas o días, o bien ser constante	rápidamente gradual; el dolor puede durar días, semanas o meses, con frecuencia específica	gradual
Factores agravantes	se agrava por el estrés emocional y durante el período premenstrual	se agrava en posición horizontal o por ingestión de alcohol	estrés psíquicos y emocionales	son factores agravantes la tos, los estornudos y los cambios de posición de la cabeza	el dolor empeora en posición horizontal y por la noche	flexión de la nuca
Pródromos	trastornos de la visión	congestión nasal, inyección conjuntival, náuseas; a veces escalofríos y fiebre	zumbido de oídos, vértigo, bocanadas de calor	náuseas y vómitos	durante la masticación puede existir dolor en la mandíbula, en el oído, en los pómulos	fiebre, aversión
Síntomas asociados	malestar, náuseas, vómitos, aversión, ojos enrojecidos, lagrimeo, depresión, irritabilidad, dolor en el cuero cabelludo		contracción de los músculos del cuello	pueden ser numerosos, en relación con las estructuras cerebrales afectadas por la masa intracraneal	el cuero cabelludo puede volverse particularmente sensible; puede existir fotofobia, con trastornos en la visión, fiebre	insomnio, agitación, rigidez de nuca y vómitos



hombros, originando la contracción de otro grupo muscular.

La inflamación de las membranas que recubren el cerebro (las meninges) y de los vasos sanguíneos provoca cefaleas particularmente intensas. Las meninges se inflaman por infecciones bacterianas o virales, hemorragias traumáticas, tumores, como consecuencia de intervenciones quirúrgicas, entre otras causas.

Algunas formas de cefalea pueden estar relacionadas con heridas en los ojos, oídos, dientes y cuello, por el simple motivo de que los nervios de estas zonas están próximos.

La cefalea puede ser también de origen psicógeno, es decir, provocada por causas psicológicas y no fisiológicas. En estos casos, el paciente afectado por esta cefalea "transforma" el dolor psíquico en dolor físico.

Jaqueca Durante la Edad Media, la abadesa Ildegarda de Bingen describió en manuscritos miniados visiones en las que "una gran estrella ... con una enorme multitud de estrellas fugaces... se transformaba de repente en negros carbones". No existe la certeza absoluta, pero a la luz de los conocimientos actuales puede afirmarse que la abadesa describió los síntomas producidos por su jaqueca. Las características más espectaculares de la jaqueca clásica son la visión de estrellas y la ceguera temporal citadas por la abadesa. Un individuo que padece jaqueca puede incluso ver manchas de colores luminosos, formas geométricas o presentar distorsiones en la percepción (por ejemplo, percibir un adulto de las mismas dimensiones que un niño). Otros síntomas comprenden dolores punzantes muy agudos en la proximidad de los ojos y de las sienes, náuseas y vómitos e intolerancia a la luz y a los ruidos. Sin la administración de fárma-

La cefalea originada por una etiología puramente orgánica está a menudo asociada a fenómenos morbosos localizados en las estructuras paranasales. Una forma inflamatoria que afecta a estas formaciones situadas en las cercanías de la nariz provoca siempre un dolor profundo de tipo pulsátil o bien una sensación de peso bastante desagradable. Las manifestaciones de dolor que están

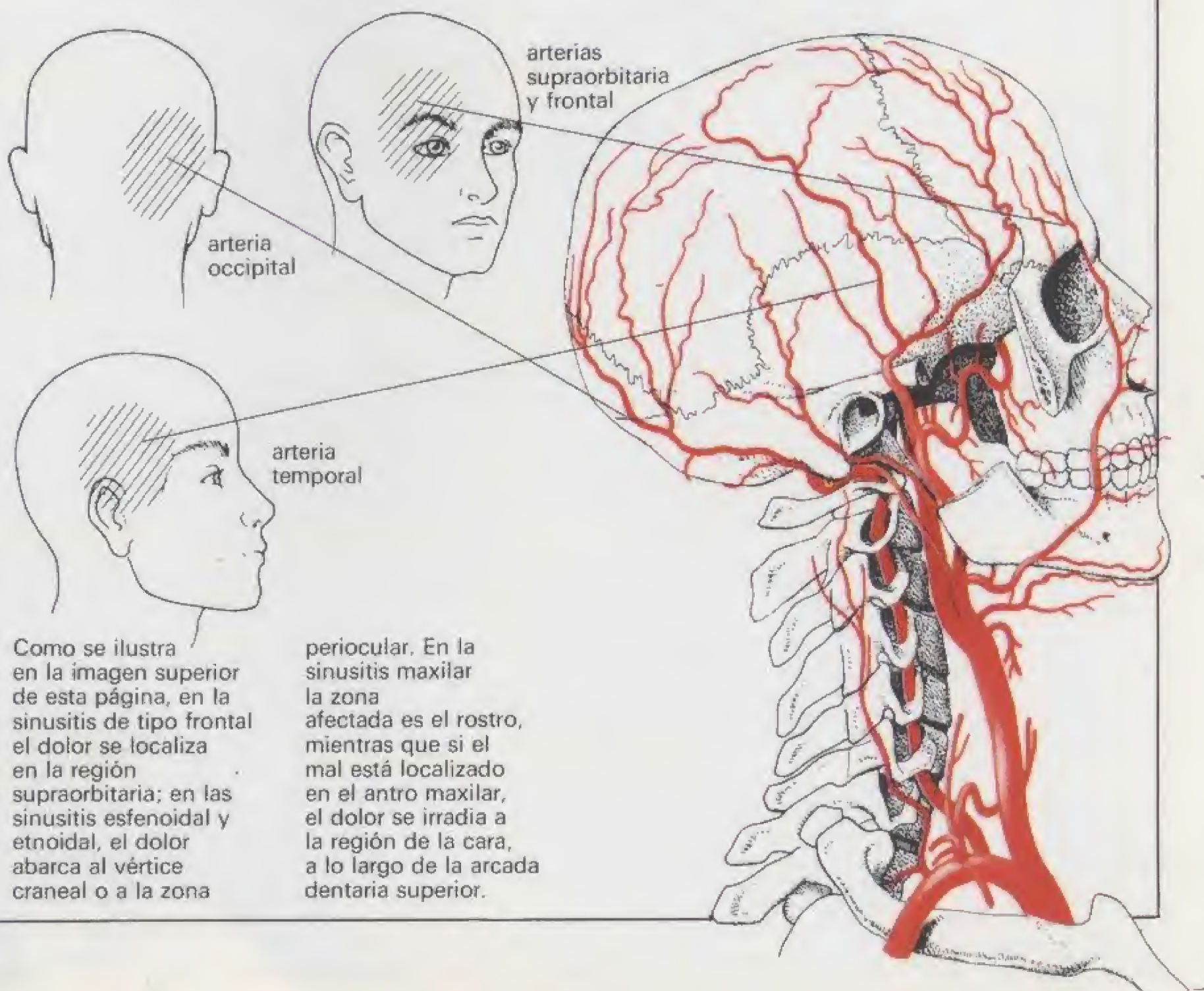
asociadas a la jaqueca parecen provocadas por un espasmo arterial que aqueja a los territorios irrigados por la arteria carótida común y por la cerebral. La brusca contracción en que consiste el espasmo originaría alteraciones visuales y trastornos corticales (alteraciones en la sensibilidad, afasia, confusión mental), mientras que la sucesiva dilatación causaría la aparición de la cefalea.

cos específicos, la jaqueca clásica dura en general de 4 a 6 horas, algunas veces un día completo, llevando al paciente a un estado de postración y depresión. Es un trastorno que afecta fundamentalmente a las mujeres.

Las *cefaleas en acúmulos*, o en *racimo*, que afectan fundamentalmente a los varones, aparecen sin ningún aviso previo y son muy intensas, capaces de despertar al individuo de un sueño profundo. Generalmente, las cefaleas en racimo son unilaterales, acompañadas de congestión nasal, lagrimeo, y, a menudo, de un cierre involuntario de los párpados. Estos síntomas se manifiestan en el mismo lado en el que se presenta el dolor. La frecuencia de las cefaleas en racimo —así llamadas porque aparecen en distintos episodios próximos— puede variar desde varios meses a un año. La persona aquejada de este tipo de cefalea camina nerviosamente, intentando aliviar el sufrimiento, mientras que los aquejados por la jaqueca clásica tienden a mantenerse durante horas en reposo absoluto, a yacer inmóviles en la oscuridad y en silencio.

La causa inmediata de la jaqueca es un proceso de vasoconstricción seguido de una vasodilatación; existe la sospecha fundada de que este proceso está favorecido por determinados factores hereditarios. No se conoce aún la fisiología de la jaqueca, aunque se puede afirmar con cierta seguridad que no depende principalmente de estados de estrés. La jaqueca en racimo suele desarrollarse después de los 40 años de edad, mientras que cerca del 40% de los pacientes con jaqueca clásica han sufrido su primer ataque antes de los 10 años de edad.

Véase **Analgésicos; Cerebro; Dolor**



Juegos electrónicos

Desde siempre el ser humano ha sentido la necesidad de crear juegos que le permitiesen poner a prueba sus facultades tanto intelectuales como manuales y que le sirviesen, al mismo tiempo, como distracción. El desarrollo tecnológico a lo largo de los siglos ha posibilitado la creación de nuevos juegos: así, por ejemplo, las primeras imprentas hicieron posible la creación de juegos de inteligencia antes de que transcurrieran cien años desde su invención. No nos resultará sorprendente, por tanto, que uno de los primeros usos verdaderamente populares de los ordenadores sea precisamente para el esparcimiento.

Grandes ordenadores y ordenadores personales Existen dos tipos de ordenadores que se utilizan normalmente en los juegos: grandes ordenadores (máquinas potentes utilizadas simultáneamente por

varios usuarios) y ordenadores personales (utilizados por uno o dos usuarios). Los juegos que se pueden realizar con estos dos tipos de ordenadores son muy distintos, aunque tienen algunos elementos en común.

La ventaja fundamental del gran ordenador es la enorme capacidad de su memoria, que admite miles e incluso millones de veces la información de un ordenador pequeño, de forma que se puede utilizar para juegos complicados, como el ajedrez. Otros juegos con ordenador de gran capacidad utilizan una cierta forma de expresión en lenguaje natural y mecanismos de inferencia lógica. A menudo este tipo de juegos se presenta en forma de cuentos de aventuras en los que el jugador tiene que resolver el misterio o encontrar el tesoro escondido.

El jugador puede acceder a la base de datos que tiene almacenado el juego a tra-

A la derecha, distintas modalidades de videojuegos de ordenador en la pantalla de un televisor en color. De arriba a abajo y de izquierda a derecha: 1.º grupo, paracaidista (tiene que caer desde el avión hasta el objetivo) y ajedrez; 2.º grupo, "flipper" electrónico y fuga de un cerco inexorable; 3.º grupo, un juego tridimensional en el que se tiene que llegar antes que el adversario a completar las casillas en la misma vertical, y otro que consiste en hacer saltar al payaso de forma que alcance los globos y los haga explotar; 4.º grupo, golf y fútbol (el movimiento de la pelota depende de la habilidad del jugador moviendo los mandos); 5.º grupo, lanzamiento del hombre-bala y ejercicios mentales basados en formas gráficas; 6.º grupo, salida de un campo de fuerzas y estudio de BASIC.



A la izquierda, arriba, un videojuego de bolsillo y, debajo, una pila de casetes de videojuego para televisión. A la derecha, el ordenador en el que se introduce el casete con el programa deseado y los distintos tipos de mando (de palanca y de pomo) con los que se puede jugar.



vés de la línea telefónica conectada a un terminal. Una vez que ha leído el juego, verá en la impresora o en la pantalla de televisión las primeras letras, por ejemplo: "Acabas de entrar en la ciudad de Clovis. El dragón está preparado para atacarte: ¿Cómo te defenderás?" El jugador responde: "Con la espada". El ordenador: "Te quitaron la espada en la puerta de entrada. ¿Conoces las palabras mágicas para vencer al primer dragón?" Jugador: "No". Ordenador: "Tienes que encontrar al mago Arshil en el noveno parapeto". Jugador: "¿Dónde está el noveno parapeto?" Ordenador: "Tienes que descubrirlo". Jugador: "¿Está hacia el norte?", etc. De esta forma se puede estar jugando durante horas o días, dependiendo del programa, y el jugador puede encontrarse a menudo con la necesidad de dibujar un mapa de donde se encuentra y llevar la cuenta de las herramientas que tiene.

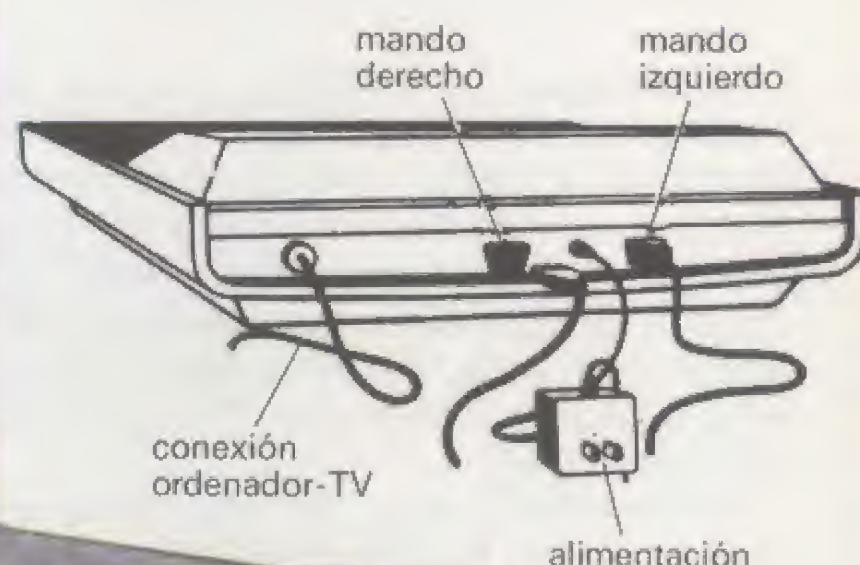
Juegos con ordenador personal Algunos juegos de grandes ordenadores que utilizan mecanismos de deducción lógica y una comunicación hombre-máquina en lenguaje natural se pueden introducir en ordenadores personales (el programa se suele cargar en un disco). Sin embargo, los ordenadores personales se utilizan sobre todo para juegos de tipo competitivo y en los que intervenga más la vista. Los juegos se pueden cargar en discos o en memorias ROM (*Read Only Memory*, o «memoria de sólo lectura»), que forman parte de la memoria del ordenador personal. Como el programa está disponible inmediatamente en la memoria ROM, el ordenador puede funcionar a mayor velocidad.

Una forma muy común de controlar el juego en un ordenador personal es a través de un mando especial llamado *joystick* (palanca de mando) conectado mediante un enchufe al ordenador.

Juegos de uno o dos jugadores En algunos juegos electrónicos participa un único jugador contra el ordenador, mientras que en otros pueden intervenir dos o más personas al mismo tiempo. Los mejores juegos para ordenador personal unen elementos de lógica y representaciones visuales llamativas.

Véase **Ordenador; Ordenador, memoria de; Ordenador, programas**

Abajo, la conexión de las distintas partes de un sistema de juego. Es mucho más simple que la necesaria en las instalaciones de música de alta fidelidad.



Juke-box

En 1939 una revista norteamericana explicaba que el *juke-box*, un tocadiscos que funcionaba con una moneda, "vendía música a 5 centavos cada canción en los bares, restaurantes y en las pequeñas salas de baile de las carreteras".

El término *juke-box*, en aquella época nuevo en el lenguaje común de los norteamericanos blancos, procedía de una expresión afro-americana; "juke" significaba vicioso, desarreglado, desordenado, mientras que "box" significaba caja.

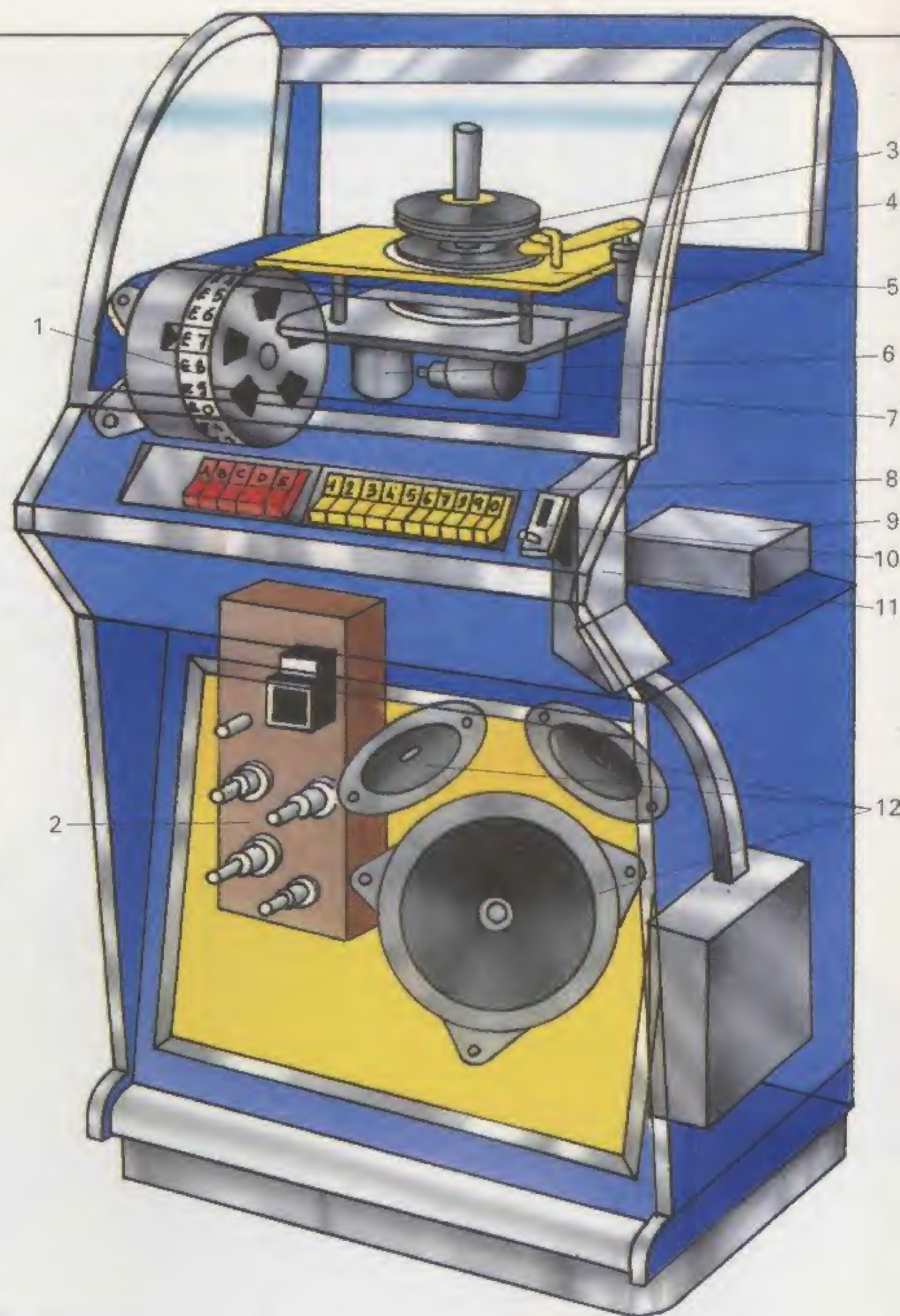
Los estadounidenses de color hablaban de *juke-house* o *juke-joint*, un lugar para beber, comer y bailar con la música de *juke-box*. El antepasado de esta máquina era la caja de música, o *nickelodeon*, que funcionaba también con una moneda.

Una máquina encerrada en una caja decorativa Detrás de las luces de colores, dentro de la vistosa cabina de cualquier *juke-box*, se esconde una máquina compleja. El simple hecho de introducir una moneda en la rendija de este músico mecánico para seleccionar un disco representa la puesta en marcha de un complicado dispositivo.

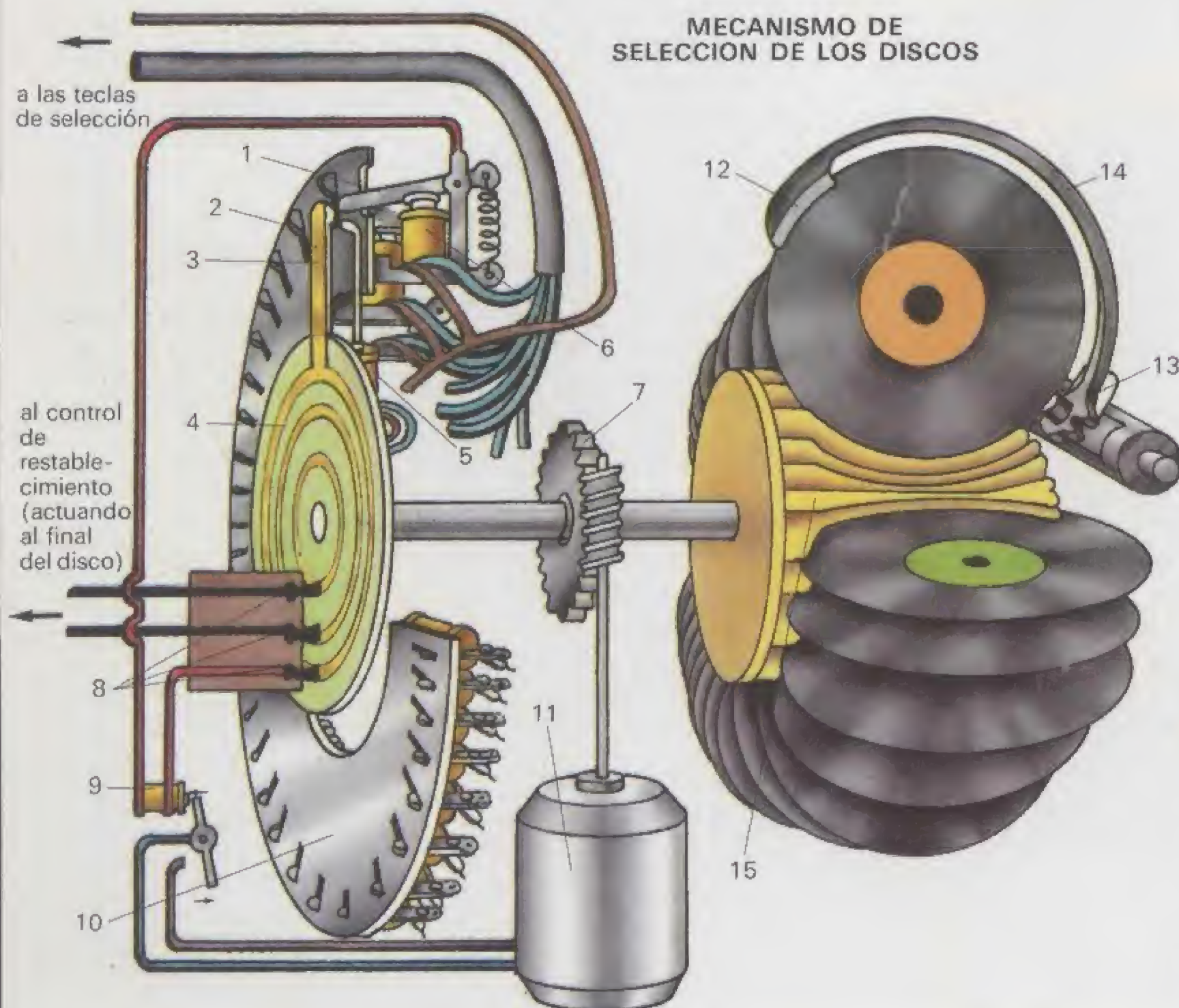
Normalmente, en un *juke-box* la moneda pasa por un mecanismo que la pesa y la mide, y por un imán que rechaza cualquier metal que no sea el de las monedas convencionales. Después de haber pasado esta inspección, la moneda golpea un interruptor y manda una señal a una rueda dentada: cada diente corresponde a un disco de los que tiene la máquina. El valor de la moneda introducida determina el número de veces que gira la rueda y por

En el dibujo de la derecha se puede observar la disposición de las distintas partes dentro de la cabina de un *juke-box*:

1. unidad de preselección; 2. amplificador; 3. pila de discos; 4. brazo de lectura; 5. plato giradiscos; 6. motor del plato; 7. motor para levantar el brazo de lectura; 8. teclas para seleccionar las canciones; 9. recoge-monedas; 10. rendija para introducir las monedas; 11. seleccionador de monedas; 12. altavoces. En el esquema de abajo, el mecanismo de selección de los discos: 1. leva de contacto en la posición on; 2. leva de contacto en la posición off; 3. brazo giratorio de contacto; 4. disco giratorio de selección; 5. electroimán para retirar la leva de contacto; 6. electroimán para mover la leva; 7. engranaje sinfín; 8. escobillas de contacto con los anillos conductores del disco giratorio; 9. relé; 10. panel fijo de selección; 11. motor de selección; 12-13. mordazas para agarrar el disco; 14. brazo para retirar el disco; 15. "cestillo" giratorio.



MECANISMO DE SELECCION DE LOS DISCOS



tanto el número de discos que se selecciona.

El mecanismo de selección Después de haber introducido un determinado número de monedas, el usuario pulsa una serie de botones que se encuentran en la parte externa del aparato, indicando al "cerebro" del *juke-box* las canciones seleccionadas.

En uno de los tipos de mecanismo la selección de piezas musicales se realiza por coordenadas, apretando las teclas marcadas con las cifras del 1 al 9 y con las letras del alfabeto. Con la selección se forman algunas parejas alfanuméricas que corresponden, como está indicado en el panel del *juke-box*, a una pieza musical determinada. Al finalizar la selección, las monedas provocan la conexión de dos contactos metálicos de un interruptor, que cierra el circuito de una unidad que es capaz de establecer el número de discos que tiene que sonar según las monedas introducidas.

Otro tipo de mecanismo para seleccionar los discos actúa como los sistemas de memoria de núcleos magnéticos de un ordenador. Cada núcleo se puede magnetizar positiva o negativamente, y, por tanto,

estar en uno de los dos estados llamados *off* (apagado) y *on* (encendido). Este sistema utiliza un pequeño circuito de hierro magnetizado para cada lado del disco. Una vez seleccionada la canción, un conmutador manda una señal eléctrica a un circuito, haciéndolo funcionar. El cambio del estado magnético del circuito indica al dispositivo de selección qué disco ha sido elegido. Este mecanismo de selección de tipo magnético es el más usado actualmente porque no necesita partes móviles, sujetas a desgastes.

Toda la gente que escucha música de un *juke-box* debería saber que si se aprieta dos veces un pulsador de selección antes de que suene un disco, éste sólo sonará una vez. También se puede observar que los discos no suenan en el orden en que se han seleccionado, sino en el orden en que están almacenados en la máquina.

Sistema de almacenamiento de los discos

En un tipo de *juke-box* los discos están almacenados en una pila, y un selector desplaza el disco seleccionado. Un brazo mecánico saca este disco fuera de la pila y hace que suene en posición vertical. En cada uno de los lados del brazo de lectura hay una aguja preparada para reproducir el disco del lado seleccionado. Un muelle mantiene el contacto de la aguja con el disco en posición vertical.

En otro tipo de *juke-box*, un sistema circular para sujetar los discos se desplaza alrededor de un selector fijo hacia el disco deseado. Un brazo lo levanta y lo coloca sobre un plato, donde suena en posición horizontal, como en un tocadiscos normal. Una vez ejecutada la selección, el mecanismo vuelve automáticamente a la posición de reposo.

Siguiéndole los pasos al éxito comercial de videojuegos, videos y videodiscos, está ya en estudio el reciente proyecto de producir un *video-juke-box*, del que vemos aquí debajo un prototipo. Este modelo, llamado *videobox*, puede almacenar del orden de 40 fragmentos de vídeo musical. Dicho aparato puede reproducir por tanto las canciones unidas a las imágenes en color que aparecen en uno o más monitores y que se pueden transmitir también con un proyector de vídeo u otros aparatos similares.

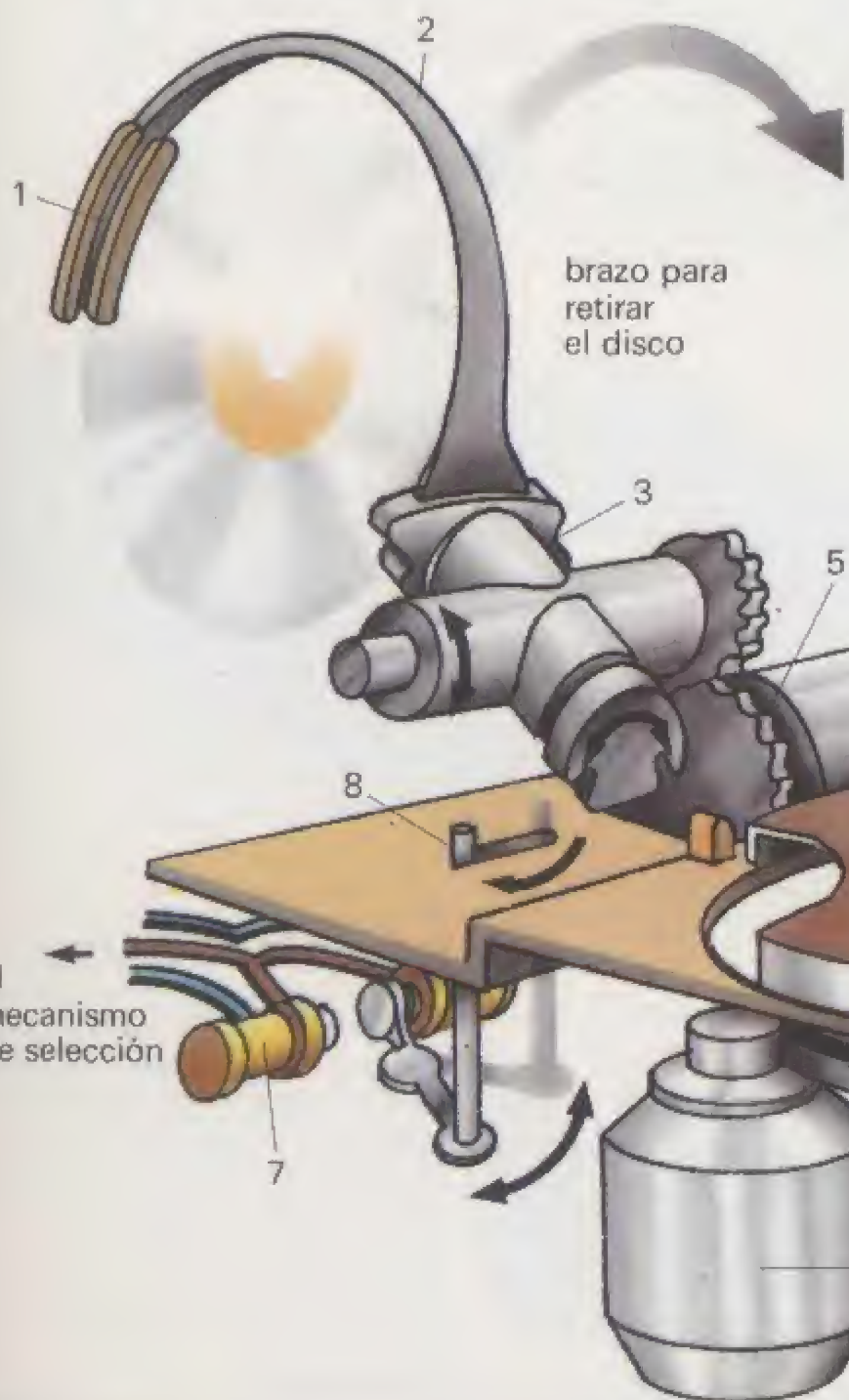


Algunos *juke-box* están conectados a una serie de pulsadores para selección a distancia. Este sistema permite que los clientes que se encuentran en distintos puntos de una sala pidan al robot musical alguna canción.

La mayor parte de los *juke-box* actuales reproduce discos de 45 revoluciones por minuto, con diámetro de 17 centímetros. Las dos caras de los discos que tiene un *juke-box* —normalmente entre treinta y cien— ofrecen la posibilidad de escuchar hasta doscientas canciones.

Véase **Alta fidelidad; Disco fonográfico; Tocabiscos**

La selección de discos en un *juke-box* como el representado bajo estas líneas se realiza apretando los botones situados en un panel y marcados con números y letras. Sobre el panel, a cada pieza musical le corresponde un número y una letra. Recuérdese que si se aprieta el pulsador de selección más de una vez, el disco suena sólo una.



Posicionamiento del disco: 1. mordazas acanaladas para agarrar el disco. 2. brazo que lleva el disco del castillo al plato girando 90 grados; 3. muesca que mantiene el brazo horizontal; 4. leva para el desplazamiento

transversal del brazo; 5. mando de engranajes para el brazo que retira el disco; 6. leva para levantar el brazo; 7. electroimán; 8. perno que, con su posición, determina qué lado del disco se reproduce; 9. motor del plato.



Junta universal

La articulación de la muñeca humana funciona como una junta universal. Puede girar en cualquier dirección: hacia abajo, hacia arriba, a la derecha o a la izquierda. En las articulaciones —así se denominan las uniones del cuerpo humano—, se unen dos huesos de tal forma que puedan moverse el uno con respecto al otro. Las articulaciones óseas pueden ser de distintos tipos —esféricas, similares a bisagras, de deslizamiento— y cada una de ellas permite un determinado tipo de movimiento entre dos huesos.

También las máquinas disponen de partes móviles unidas por juntas, que pueden ser de distinto tipo según el movimiento que se quiera obtener entre los dos elementos a unir.

Una de las juntas mecánicas más importantes es la *junta universal*, que permite el movimiento en cualquier dirección de los dos elementos que conecta, de tal forma que también podemos transmitir una determinada potencia entre dos ejes cuando se encuentran inclinados entre sí. Precisamente gracias a la junta universal se puede transmitir la potencia desde el motor a las ruedas de un vehículo.

Sistema de transmisión El motor produce la potencia necesaria, que debe ser transmitida a las ruedas para el movimiento de un automóvil. El conjunto de ejes y de juntas que conectan y transmiten la potencia entre motor y ruedas se llama *transmisión*.

La junta universal soluciona los dos principales problemas de una transmisión. En primer lugar permite una inclinación del eje de transmisión con respecto al motor y las ruedas. En segundo lugar permite una pequeña variación de la distancia de los elementos entre los cuales se transmite la potencia, gracias a un sistema desplazable.

Tipos de juntas universales Existen dos tipos de juntas universales: la cardánica y la elástica.

Una *junta cardánica* (inventada por Cardan en el siglo XVI) consta de tres elementos fundamentales: dos *horquillas* metidas en sus respectivos árboles y un órgano mecánico que las une, la *cruceta*. En los automóviles se usa generalmente para transmitir el movimiento desde el grupo motor-cambio delantero al puente trasero, por conducto del árbol de transmisión. Periódicamente es necesario realizar el engrase de los acoplamientos giratorios, lo que se consigue generalmente con un solo engrasador situado en la cruceta.

Otra aplicación análoga se realiza en algunos coches con ruedas motrices independientes para transmitir el movimiento desde el diferencial —fijado a la carrocería— a las ruedas a través de los semiejes.

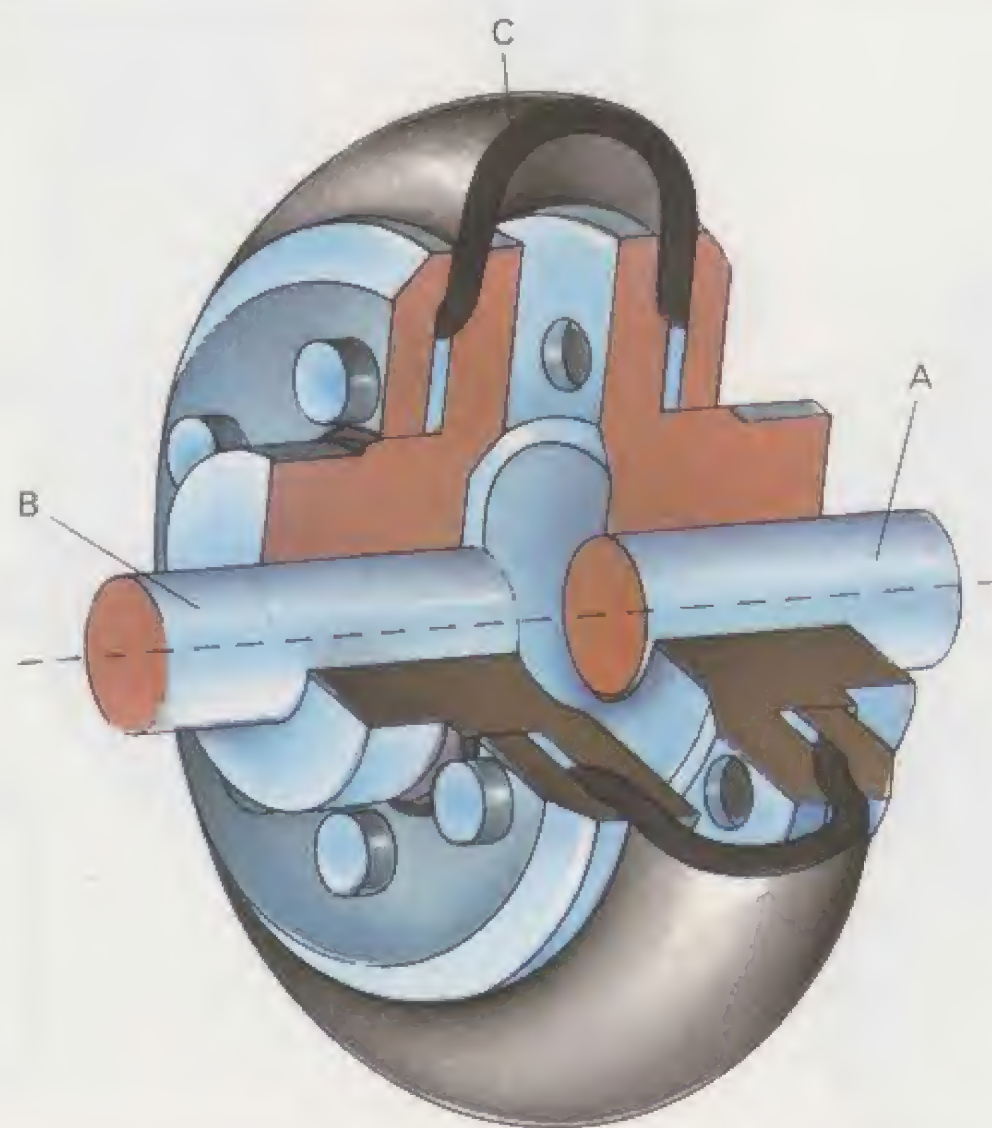
Las *juntas elásticas* permiten pequeños movimientos angulares, radiales y axiales gracias a unos elementos elásticos interpuestos entre los extremos de ambos árboles. Existen muchos tipos de juntas elásticas, constituidas la mayoría de las veces por dos elementos rígidos unidos a dos extremos de los árboles y por un elemento elástico intermedio, generalmente de cuero y metal. También son importantes las juntas de caucho, que encuentran gran aplicación en el sector de la industria de automóviles. Pueden ser de caucho natural o sintético.

En los automóviles con motor delantero y tracción posterior, generalmente se utilizan dos juntas: una a la salida del cam-



En el dibujo superior vemos la articulación de la muñeca o radiocubital. En Anatomía se llama *articulación* al sistema utilizado para la unión entre los huesos. Existen tres grupos de articulaciones: las *sinostosis*, inmóviles y de gran solidez, como, por ejemplo, las que unen los huesos de la cabeza; las *anfiartrosis*, que sólo permiten movimientos limitados, como, por ejemplo, las articulaciones existentes entre las vértebras; las *diartrosis*, que permiten amplios movimientos, como, por ejemplo, las articulaciones de los miembros. En este último caso, las superficies que

están en contacto tienen una forma tal que cada una corresponde casi siempre a la del hueso contiguo: es decir, que cuando una es cóncava la otra es convexa. Dichas superficies están recubiertas por un cartilago liso, llamado *articular*, que facilita el deslizamiento entre los dos huesos de la articulación. Los dos huesos están además recubiertos por una cápsula de materia fibrosa que forma una especie de manguito alrededor de la articulación. Esta cápsula está reforzada por los ligamentos, que tienen la función de unir los dos huesos de una manera sólida pero también elástica.



En la figura de la izquierda está representado un tipo de junta elástica. La transmisión del movimiento entre el eje conductor A y el eje conducido B se obtiene mediante la pieza de goma de unión, C. Este tipo de junta elástica permite un desplazamiento angular limitado entre los dos árboles de transmisión, gracias a la deformación elástica de los órganos intermedios de la junta, que pueden ser anillos o discos de cuero o de goma, tampones de goma, muelles, etcétera. Posee la propiedad de que puede funcionar como antisacudidas. Hay dos tipos de juntas elásticas: junta Hardy y junta Giubo.



bio de velocidad, que transmite la potencia al árbol de transmisión, y la otra en el extremo posterior de dicho árbol, que se conecta con la entrada del diferencial (órgano mecánico que pone en rotación las ruedas).

Otros tipos de juntas Para satisfacer las distintas exigencias de conexión entre órganos mecánicos, hay otros sistemas de juntas además de los que acabamos de describir. Existen las *juntas articuladas*, que están dotadas de articulaciones para permitir desplazamientos entre los elementos a unir. La *junta rígida* es un tipo de junta que une dos árboles giratorios de forma que impide cualquier movimiento relativo entre ambos. Puede ser *de manguito*, *de discos*, *de bridas* o *dentada*. Requiere una perfecta alineación entre los elementos que hay que unir y posee la característica de que transmite inalterados los choques y las vibraciones.

En el campo del automóvil son cada día más utilizadas las *juntas homocinéticas de bolas*, que permiten el giro de la dirección de las ruedas en los automóviles de tracción delantera. Se dice que una junta es *homocinética* cuando la velocidad del árbol conducido no varía con respecto a la del árbol conductor, aumentando el ángu-

Arriba, dos juntas elásticas montadas en las extremidades de un árbol de transmisión y el detalle de dichas juntas. Este tipo de junta, además de permitir una oscilación

angular entre los ejes conectados, desarrolla una función de amortiguación de las vibraciones. Esto se consigue gracias al material elástico utilizado para la construcción del elemento intermedio que une las dos bridas, rigidamente conectadas con las transmisiones. En las figuras de la izquierda vemos una junta cardánica en detalle y un árbol de transmisión en cuyas extremidades están montadas dichas juntas. Este tipo de junta se utiliza para acoplar árboles de transmisión que no están alineados entre sí; puede construirse según distintos esquemas y tiene ilimitadas aplicaciones.

lo que forman entre sí las dos transmisiones. En este tipo de juntas, las bolas —colocadas en forma de corona— constituyen el órgano intermedio. Al ser obligadas éstas a moverse siempre en un plano que divide en partes iguales el ángulo que forman los dos ejes, mantienen siempre constante —debido a su simetría— la velocidad de giro de los dos árboles.

Sin embargo, cuando los ejes que deben ser conectados son paralelos, pero no están perfectamente alineados, se recurre a la *junta de Oldham*. Aquí el elemento intermedio está constituido por un disco que dispone en sus dos caras de dos resaltes —uno a cada lado y dispuestos perpendicularmente entre sí— que acoplan con los dientes de las bridas. Durante el funcionamiento, los resaltes se deslizan alternativamente en los dientes y transmiten el movimiento rotatorio entre los ejes.

Véase Automóvil, diferencial; Engranaje



Júpiter

Júpiter es el planeta gigante de nuestro Sistema Solar. Su superficie se halla continuamente azotada por fuertes vientos, que forman bandas multicolores visibles desde la Tierra con la simple ayuda de un pequeño telescopio. Es un mundo sin ninguna superficie sólida, sometido a una aplastante presión por parte de una atmósfera densa y helada de hidrógeno, metano y amoníaco. Está rodeado por un séquito de doce satélites, de los cuales, los cuatro más brillantes fueron ya observados por Galileo. Las dimensiones de los satélites son comparables con las de la Luna; los dos mayores, en realidad, son más grandes que Mercurio. Cada uno de estos satélites se ha revelado, a partir de los datos enviados por los vehículos espaciales, como un original y fascinante mundo individual. Esos vehículos han descubierto también que el sistema jupiteriano está rodeado por un fino y delicado anillo de residuos polvorientos.

Dimensiones y distancia Júpiter es el quinto planeta —en orden a su distancia— del Sistema Solar; alejado del Sol cinco veces más que la Tierra. Orbita alrededor del Sol a una distancia media de aproximadamente 778,3 millones de kilómetros, en las zonas frías más allá de Marte y de los residuos rocosos del cinturón de asteroides. La revolución de Júpiter en su órbita alrededor del Sol, o período sideral, es de 11,86 años terrestres.

Júpiter es el mayor planeta del Sistema Solar, y casi todas sus magnitudes características son del orden del promedio entre las del Sol y las de la Tierra. Con un radio de aproximadamente 71.900 km, su diámetro es casi once veces mayor que el de la Tierra, y diez veces menor que el del Sol. Por sí mismo, Júpiter aporta las tres cuartas partes de la masa del Sistema Solar (excluyendo, naturalmente, al Sol). Su masa es 318 veces superior a la masa de la Tierra y equivale al 0,1% de la masa del

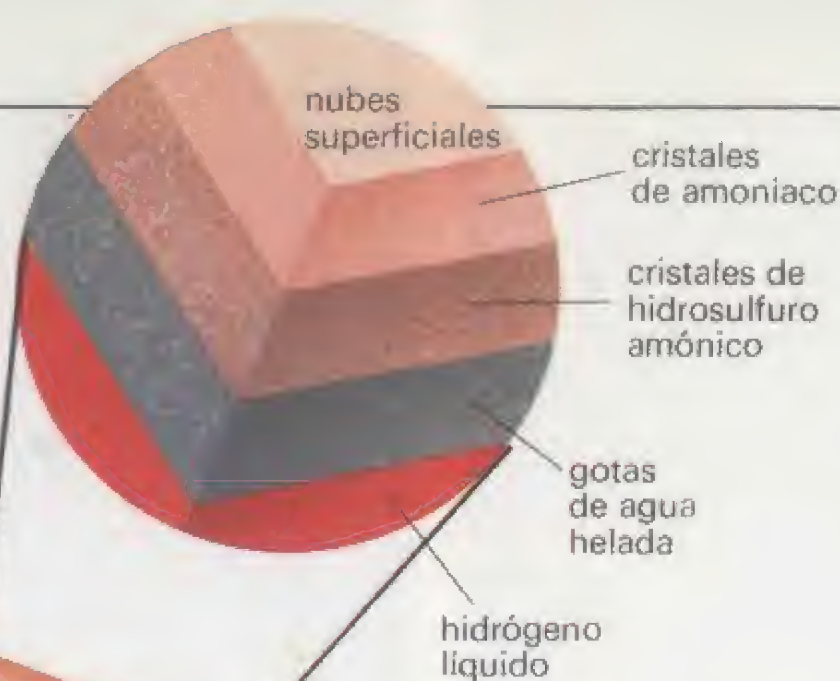
Sol. Su período de rotación es el más corto de todos los planetas; su duración es de sólo 9 horas 55 minutos y se determina mediante la velocidad de rotación de las nubes. Esta rotación no es uniforme en todas las latitudes, ya que resulta un poco más rápida en el ecuador, y más lenta en las latitudes medias; con ello se produce un sistema de distorsión, que no sólo explica la distribución de las nubes en bandas, sino también la formación de zonas de turbulencia. Debido a su gran tamaño y a su veloz rotación, Júpiter presenta un gran achatamiento en los polos y un enorme aplastamiento ecuatorial. Su forma aplastada es apreciable incluso con un telescopio de modestas dimensiones.

La atmósfera de Júpiter Entre sus características más notables se encuentra el sistema de bandas multicolores —paralelas al ecuador— que rodean al planeta. Bandas con coloraciones marrones, rojizas



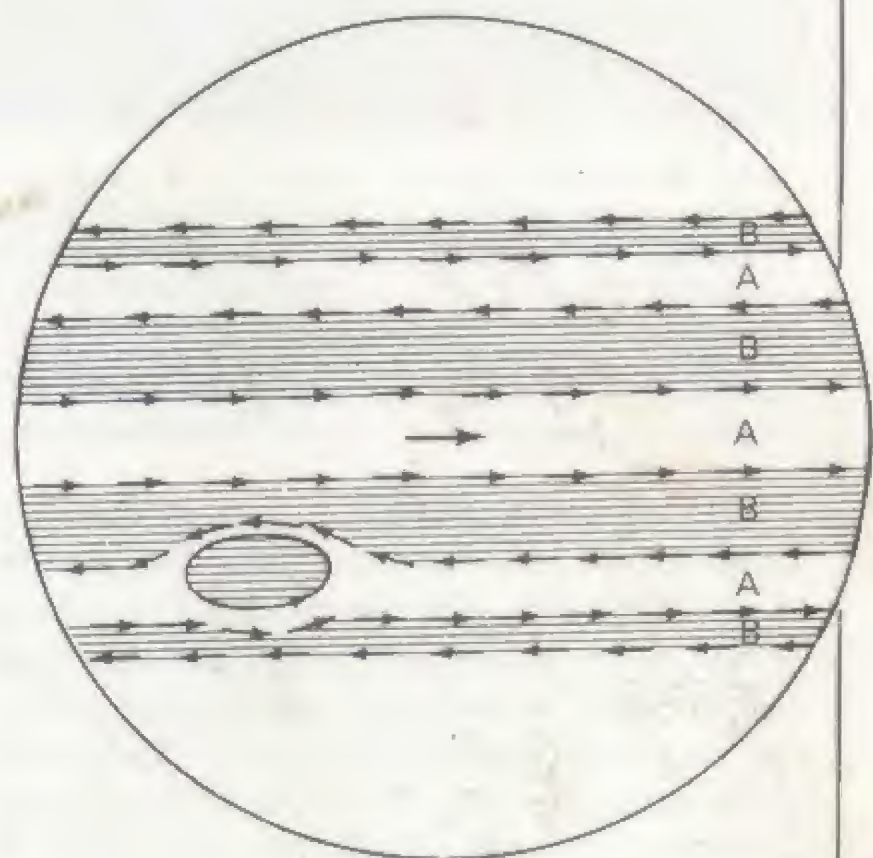
En la página anterior, fotografía de Júpiter tomada desde una sonda *Voyager*. Se aprecian claramente las franjas de nubes paralelas al ecuador y la Gran Mancha Roja, un vórtice que desde siglos se viene apreciando en la superficie del planeta. Las nubes cubren permanentemente el planeta, impidiendo observar su superficie. Probablemente no exista una verdadera superficie como en el caso de los planetas de estructura rocosa, de pequeño tamaño y cercanos al Sol, entre los que se encuentra la Tierra. En esta página, y bajo estas líneas, un hipotético corte en sección del planeta: se aprecia un núcleo

interior de rocas silíceas poco extendido, un estrato de hidrógeno "metálico", un estrato de hidrógeno molecular, hidrógeno líquido, y finalmente las nubes.



A la derecha, la distribución de las áreas de alta presión atmosférica (A) y de baja presión (B) en la superficie de Júpiter origina nubes en franjas. Debajo, varias hipótesis sobre el posible origen de la Mancha Roja: arriba, la hipótesis de la balsa (a); según la cual, la mancha viene a ser un islote flotante de partículas sólidas. Según la hipótesis de la columna de Taylor (b), dicha mancha tendrá su origen en una perturbación del flujo de los vientos debida a un obstáculo en la superficie. Finalmente, la hipótesis de la tormenta tropical (c), que afirma que la mancha consiste en un grandioso vórtice anticiclónico

La Gran Mancha Roja ha sido observada por los astrónomos desde hace más de trescientos años. Al igual que otras características de Júpiter, la Gran Mancha Roja sigue asombrando a sus observadores. ¿Cómo puede un fenómeno atmosférico perdurar inalterado durante siglos, especialmente en un ambiente tan dinámico como es la atmósfera de Júpiter? También es posible que la Mancha esté relacionada con alguna característica permanente situada en las profundidades del planeta. Estos y otros interrogantes podrían ser parcialmente desvelados por la nave espacial *Galileo* que será lanzada por Estados Unidos y que entrará en órbita alrededor de Júpiter en 1990, dejando caer una sonda —con un paracaídas— en las profundidades de la atmósfera del planeta.

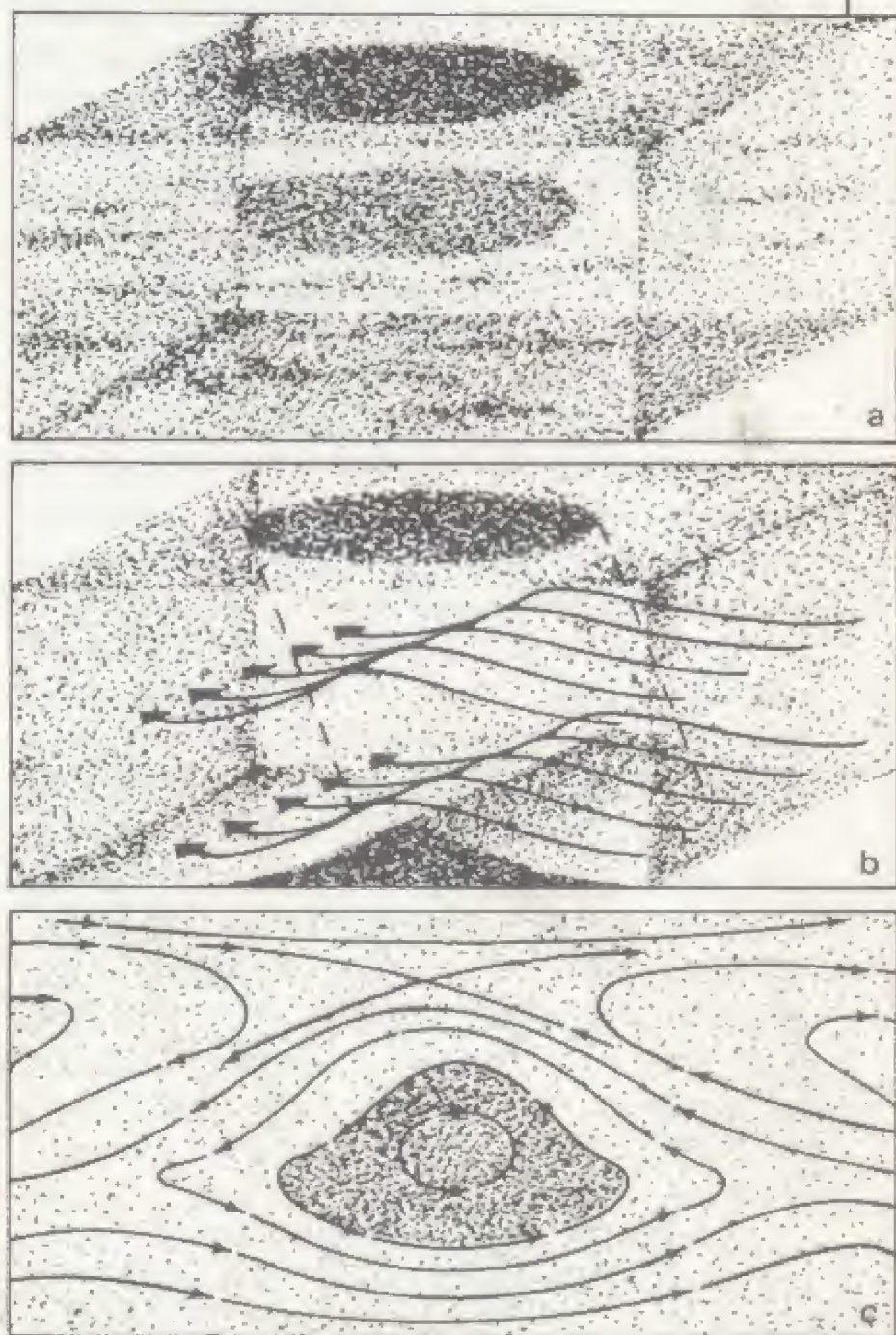


y azuladas se alternan con zonas claras de color crema. Las observaciones realizadas por las cuatro sondas espaciales no tripuladas que han pasado cerca de Júpiter —el *Pioneer 10*, el *Pioneer 11*, el *Voyager 1* y el *Voyager 2*— han revelado que las franjas multicolores corresponden a zonas con vientos muy veloces en dirección oeste, que se alternan con vientos dirigidos hacia el este (*corrientes de zona*) correspondientes a las bandas más claras; la separación entre las diferentes bandas con vientos de dirección contraria está señalada por la presencia de intrincadas corrientes vorticosas. En Júpiter se alternan, según las distintas latitudes, hasta cinco o seis tipos de corrientes, tanto en el hemisferio septentrional como en el meridional. Las franjas y zonas no han variado su latitud en los últimos ochenta años de modernas observaciones astronómicas, aunque las corrientes vorticosas fronterizas pueden aparecer y desaparecer en el transcurso de uno o dos días. Aún no está muy claro el mecanismo por el cual estas corrientes mantienen su posición y estructura organizada en franjas.

Probablemente Júpiter posee al menos tres capas diferenciadas de nubes: una capa superior, formada por cristales de

amoníaco helado; una capa intermedia, de cristales de hidrosulfuro amónico (un compuesto de amoníaco y sulfuro de hidrógeno), y una capa inferior, de agua helada o quizás líquida. Sin embargo, todos estos compuestos son incoloros, mientras que las características observadas en Júpiter corresponden a nubes de diferente color y luminosidad. Todavía no se conoce a ciencia cierta la causa de estos espectaculares fenómenos cromáticos, pero hacen pensar en algún tipo de actividad química que quizá implique la presencia de azufre, fósforo y diversos compuestos orgánicos (que contienen carbono).

La Gran Mancha Roja La característica más notable de la atmósfera de Júpiter es la Gran Mancha Roja del hemisferio meridional, con forma ovalada, de color marrón-rojizo y con un diámetro tres veces superior al de la Tierra. La Gran Mancha Roja es un fenómeno atmosférico, una tempestad en torbellino de extraordinaria virulencia que gira absorbiendo de vez en cuando corrientes vorticosas más pequeñas, correspondientes a las bandas más cercanas de color claro, transportándolas al interior de su gigantesco vórtice y engulléndolas hasta hacerlas desaparecer.

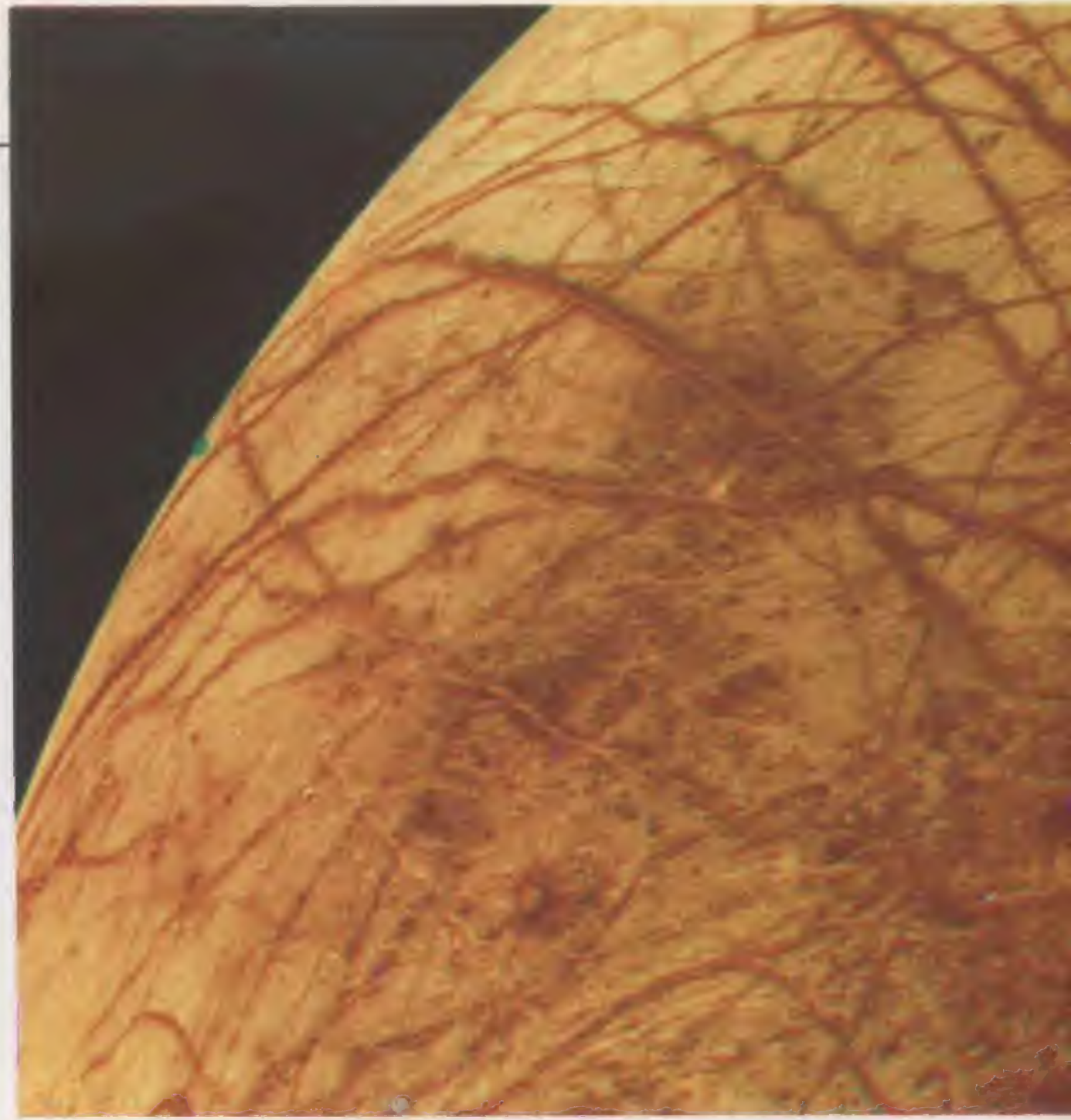




Arriba, las enormes lenguas de fuego que se elevan desde uno de los volcanes activos de Io, el satélite galileano más próximo al planeta. Es una de las primeras imágenes

enviadas por sonda y de las cuales se ha podido deducir la presencia de una intensa actividad volcánica en el satélite: éste tiene ocho volcanes y la

sonda *Voyager* ha podido observar la actividad de siete de ellos. Como el satélite carece de atmósfera, las erupciones proyectan sus enormes lenguas de fuego hasta



alturas que varían entre 70 y 300 kilómetros. La velocidad de salida de los materiales expulsados alcanza valores de hasta un kilómetro por segundo.

Arriba, a la derecha, se muestra el satélite Europa, cuyo tamaño es similar al de la Luna, pero que presenta una superficie llana surcada por unas características estrias,

grietas de la superficie cubiertas por la corteza helada. En la imagen captada en esta fotografía no aparecen impactos de meteoritos.

El interior de Júpiter Observando el cielo nocturno desde la Tierra, Júpiter aparece como uno de los planetas más luminosos que pueden verse. Su brillo se debe a que, como todos los planetas del Sistema Solar, refleja la luz del Sol. Debido a su gran distancia del Sol, Júpiter recibe únicamente 1/25 de la luz y el calor que recibe la Tierra; Júpiter debería ser, por tanto, un mundo frío, cientos de grados más frío que la Tierra. Sin embargo, no es tan gélido como cabría esperar; emite más calor del que recibe, incluso el doble. Los astrónomos piensan que este exceso de calor es energía residual de la época de formación del planeta y del Sistema Solar, hace 4.600 millones de años. Según una teoría, Júpiter se habría condensado —bajo la acción de la fuerza de la gravedad— a partir de una nebulosa o nube de gas de hidrógeno y de otros materiales. La parte de la nebulosa que se condensó para formar el Sol era tan densa que el calor generado por la presión elevó la temperatura interna lo suficiente como para iniciar la fusión del hidrógeno en helio, transformando al Sol, recién formado, en una brillante estrella. La parte de la nebulosa que dio origen a Júpiter se calentó también durante el proceso de condensación, pero su temperatura no fue suficiente para superar el límite térmico de la fusión termonuclear; si la masa de Júpiter hubiese sido diez veces mayor, se habría convertido en una estrella y no en un planeta gaseoso. Desde que se formó, Júpiter sigue todavía enfriándose. Puesto que Júpiter irradia más calor del que recibe del Sol, la temperatura de su atmósfera au-

menta del exterior hacia el centro del planeta. Las mediciones efectuadas por las naves espaciales indican que Júpiter no tiene una superficie sólida como la de la Tierra. Cuando se llega, aproximadamente, a la mitad de su atmósfera, se produce una transición gradual del hidrógeno gaseoso al líquido, aumentando la temperatura hasta 10.000 K (grados Kelvin), casi el doble de la temperatura existente en la superficie del Sol. A una mayor profundidad podría darse una transición brusca al hidrógeno "metálico", es decir, hidrógeno líquido que se convierte en conductor de la electricidad y se comporta como un metal líquido.

En el centro del planeta podría haber un núcleo de hielo y roca con un tamaño apenas superior al de la Tierra, quizás unos 10.000 km de radio, donde la temperatura podría alcanzar el valor de 20.000 K (bajo la aplastante presión de la atmósfera de Júpiter, las leyes de la Química se alteran y su comportamiento se vuelve extraño, permitiendo la existencia de hielo a una temperatura tan elevada). El hidrógeno "metálico" induce un fuerte campo magnético en el planeta, un campo 19.000 veces más intenso que el de la Tierra. Fuera del planeta, en su espacio circundante, el campo magnético de Júpiter atrapa las partículas con carga eléctrica procedentes del Sol, encauzándolas en mortíferos haces de radiación alrededor del planeta, responsables de tremendas descargas eléctricas que pueden ser percibidas desde la Tierra por los radiotelescopios de la misma forma en que los rayos de las tormentas terrestres originan

ruidos durante las transmisiones de radio, dificultando su escucha.

Los satélites galileanos Júpiter está rodeado por un grupo numeroso de satélites de muy distintos tamaños; algunos tienen diámetros de muchos miles de kilómetros y otros no son, sin embargo, más que grandes pedazos de aglomerado rocoso con un diámetro inferior a un kilómetro. Es difícil contabilizar exactamente el número de satélites que posee Júpiter (principalmente porque habría que especificar lo que se considera como un satélite y lo que, por el contrario, se clasifica como un fragmento rocoso). Lo que es evidente es que Júpiter está rodeado por, al menos, 13 satélites con un diámetro superior a un kilómetro y por cientos de rocas más pequeñas. Los cuatro satélites de mayor tamaño se pueden considerar como mundos completos, con dimensiones similares a las de los planetas y que forman casi un sistema solar en miniatura alrededor de Júpiter. Conocidos con el nombre de *satélites galileanos*, en honor a Galileo, que los descubrió a principios del siglo XVII, cada uno de los cuatro satélites principales tiene aproximadamente las mismas dimensiones y masa que la Luna.

Io, el más cercano a Júpiter, es también el más extraño. Se trata de un objeto denso y rocoso, algo mayor que la Luna, que recorre velozmente su órbita alrededor de Júpiter en 1,8 días, a 410.000 km por encima de su superficie (distancia similar a la que separa la Luna de la Tierra), y atravesando los terribles haces de radiación del planeta. Las partículas cargadas y al-



Arriba, la superficie de Ganimedes, el mayor de los satélites de Júpiter; está formado, al menos superficialmente, por una corteza de hielo y residuos rocosos. El

impacto de meteoritos ha dejado señales en forma de cráteres alrededor de los cuales aparecen fragmentos de materiales, principalmente hielo, proyectados por el

choque. Estos se depositan formando manchas claras que destacan sobre el hielo viejo, de color más oscuro. Si dichos fragmentos han caldo cerca, el cráter

aparece bordeado por una franja más clara en forma de aureola. Arriba, a la derecha, Calixto, el gran satélite de Júpiter formado por rocas de hielo y con gran cantidad de

cráteres en su superficie. En esta imagen, tomada por la sonda *Voyager 2*, se aprecia, en la parte superior, la enorme huella de un impacto meteorítico, con

anillos concéntricos (el mayor de los cuales tiene un diámetro de 1.500 km). Recordemos que señales similares aparecen también en la cara oculta de la Luna y en Mercurio.

tamente energéticas que permanecen atrapadas por el campo magnético de Júpiter bombardean incesantemente la superficie de Io, dando lugar a un desprendimiento continuo de gases que quedan atrapados en la órbita por el campo magnético y que forman una nube a través de la cual se desplaza el satélite, chisporroteando por efecto de las descargas eléctricas. Observaciones realizadas por las misiones *Voyager 1* y *2* revelaron que la superficie de Io es de un color rojizo-anaranjado, con volcanes activos que despiden chorros de materia y gases a cientos de kilómetros de altura sobre la superficie. Parece ser que las tonalidades rojas y naranjas son debidas a la presencia de azufre, sodio, potasio e hidrógeno y que la superficie de Io podría parecerse a una gran llanura salina.

Europa, más alejado de Júpiter que Io, cubre una órbita alrededor del planeta en 3 días y medio. Europa es algo más pequeño, con un radio de 1.536 km y una estructura totalmente distinta. Aunque es rocoso, denso y rojizo como Io, su superficie es lisa como una bola de billar, marcada por líneas que se cruzan, pero casi sin relieves verticales. Europa sigue siendo el más enigmático de los satélites galileanos; quizá se halla cubierto por un océano helado, cuya superficie se resquebrajó repentinamente dejando grietas que se rellenaron posteriormente.

Ganimedes, que se encuentra a una distancia de más de un millón de kilómetros de Júpiter y tarda una semana en cubrir una órbita de un radio de 2.631 km, es el gigante de hielo de los satélites galilea-

nos y es mayor que el planeta Mercurio. La superficie de Ganimedes muestra los efectos ocasionados por violentos terremotos, grietas, elevaciones y depresiones que se entrecruzan desordenadamente, en intrincadas formas que sugieren movimientos bruscos de su corteza. Su superficie parece relativamente vieja, ya que muestra señales de cráteres producidos por los impactos de meteoritos a lo largo de milenios de existencia.

Calixto, situado a 1.880.000 km de Júpiter, emplea dieciséis días y medio en cubrir su órbita. Al igual que Ganimedes, Calixto está compuesto principalmente por hielo, pero toda su superficie está cubierta de cráteres. No existen llanuras ni volcanes; únicamente una antigua superficie constituida por cientos de miles de cráteres, uno sobre otro, que recuerdan las altiplanicies de la superficie lunar.

El anillo de Júpiter Otro descubrimiento realizado por el *Pioneer 11* y confirmado por el *Voyager 1* es la existencia de un delgado anillo que abraza al planeta, situado en torno a su ecuador y que resulta poco significativo si se compara con los bellos anillos que rodean a Saturno. El anillo de Júpiter se extiende por encima de la capa superior de la atmósfera del planeta, a unos tres cuartos de la distancia entre éste y su satélite Io.

Las cámaras del *Voyager* han podido examinar detalladamente el anillo de Júpiter, y por las imágenes captadas se sabe que está dividido en tres partes claramente diferenciadas: un anillo muy brillante, un disco difuso y un halo.

El anillo más brillante es de enormes dimensiones: tiene una anchura de 6.000 kilómetros y un espesor de 30 km aproximadamente. Ocupa una extensión entre 58.000 y 52.000 km, a partir del límite de la atmósfera. En él se puede diferenciar una franja delgada, de 600 km de anchura, con un poder de reflexión que supera en un 10% al del resto del anillo. Sin embargo, es mucho más transparente y está más enraecido que los anillos de Saturno. Ha sido atravesado por la sonda *Pioneer 11*, sin que ésta haya dado muestras de experimentar daño alguno. El examen espectroscópico ha demostrado que el anillo está constituido por partículas relativamente grandes, de un color que recuerda al de los asteroides.

El disco difuso, más débil, se extiende desde el borde interno del anillo brillante hasta rozar, o eso parece, la alta atmósfera del planeta. También en este caso el espesor del disco es de aproximadamente unos 30 kilómetros.

El halo, que posee un espesor estimado en 20.000 kilómetros, se extiende más allá del anillo brillante, hasta alcanzar una distancia de más de 60.000 kilómetros desde Júpiter.

Aunque el *Pioneer 11* y el *Voyager 1* han contribuido a profundizar nuestros conocimientos sobre Júpiter, al mismo tiempo han planteado muchas nuevas incógnitas, por lo que, en muchos aspectos, Júpiter sigue siendo un planeta misterioso.

Véase **Asteroide; Astronomía; Astronomía para aficionados; Marte; Mercurio; Planetas; Plutón; Radioastronomía; Saturno; Sistema Solar; Tierra; Urano; Venus**

Jurásico, período

Casi todos hemos soñado alguna vez con aquel lejano pasado, hace millones de años, cuando los dinosaurios dominaban nuestro planeta. Estos enormes reptiles poblaron la Tierra en la era Mesozoica, sobre todo durante el período Jurásico (comprendido entre el Cretácico y el Triásico y que comenzó hace casi 195 millones de años, durando unos 55).

Las formas de vida Fue durante el período Jurásico cuando los dinosaurios alcanzaron su máximo desarrollo. Estos "monstruos" —como el diplodocus, el más grande de los dinosaurios, de hasta 27 metros de longitud; el brontosauo, que llegaba a pesar 20 toneladas; y el estegosauo, de hasta 6 metros, provisto de una cresta de pesadas placas óseas— vagaban libremente por las zonas emergidas del planeta. Era también la época de los reptiles ala-

dos y del más primitivo espécimen de pájaro, el *Archaeopteryx*, que planeaba, pero que no era aún capaz de volar como los pájaros actuales. Los mamíferos, cuyos primeros fósiles se remontan al Triásico, extienden ahora su hábitat, aunque todavía son de pequeñas dimensiones.

También la flora de este período es enormemente interesante, tanto por la variedad de especies como por las condiciones de fosilización muy favorables, que han permitido la conservación de riquísimos yacimientos casi intactos.

Durante el Jurásico, las Coníferas experimentan una regresión (a pesar de la aparición de las primeras especies de Araucarias), debida seguramente al cambio de clima, que en este período es típicamente tropical. Las plantas más difundidas son las Gimnospermas, en gran parte las Cicas, Bennettites y Ginkgoales. Además,

entre las Gimnospermas predominan en esta época los antepasados de la secuoya.

Los océanos estaban poblados por las más variadas formas de vida: los ictiosaurios, similares a los delfines, y los ammonites, criaturas emparentadas lejanamente con los calamares, pero dotadas de grandes y espectaculares conchas.

La geología del Jurásico Desde el punto de vista geológico, el Jurásico fue un período tranquilo, con moderada actividad volcánica y orógena. De todas formas, los agentes erosivos prosiguieron ejerciendo su acción modeladora de los paisajes: los ríos surcaron las montañas y los vientos crearon enormes campos de dunas. No obstante, la corteza terrestre permaneció sustancialmente inactiva, de manera que las rocas que se formaron durante este período son, en su mayoría, se-

Años 10 ⁴	Eras	Períodos
1.8	Cenozoica	Cuaternario
		Neógeno
		Paleógeno
67	Cretácico	
141		
195		
230	Paleozoica	Triásico
280		Pérmico
347		Carbonífero
396		Devónico
435		Silúrico
500		Ordoviciense
570		Cámbrico
2 700	Precámbrica	Proterozoico
4 000		Arcaico



Disposición de los continentes en el Jurásico. Al norte, bloque formado por América septentrional, Europa y Asia e invadido en proporción variable por las aguas, mientras que en el Sur persiste el continente de Gondwana con notable continuidad superficial. Un mar epicontinental que abarcaba la actual Europa central dividía el bloque septentrional en un continente nortatlántico y uno asiático. De este mar emergían los macizos hercínicos, que dividían en cuencas menores el área invadida por las aguas.

Junto a estas líneas, reconstrucción de un ambiente marino del Jurásico. Aunque la principal característica del período es la gran extensión de las barreras coralinas, entre los animales bentónicos están también presentes las esponjas silíceas, los equinidos, los crinoideos, los lamelibranquios, los braquiópodos y los ammonites. En lo que respecta a la flora, se han encontrado fósiles de órganos de *Caytoniales*, plantas que algunos autores consideran como precursoras de las Angiospermas. En la página siguiente, arriba, están representados algunos órganos y partes significativas de estas plantas. Abajo, estróbilos seccionados de *Araucaria mirabilis*, conífera del Jurásico superior.





El Jurásico es un período caracterizado por frecuentes regresiones y transgresiones marinas. Una de estas últimas dio lugar en Europa a extensas zonas pantanosas y terminó uniendo el Tethys (el antiguo océano individualizado desde mediados del Paleozoico, que prácticamente terminó cerrándose en la segunda mitad del Cenozoico al formarse las cadenas alpinas. De él son restos los actuales mares Mediterráneo, Caspio, Negro y Aral) con el océano Ártico. Alguna actividad orogénica poco intensa tuvo lugar en el Tibet, Cáucaso, Siberia oriental, Japón, Alpes austrálicos y en los Andes, y de mayor importancia en la zona oeste de América septentrional. En lo que

se refiere a la fauna, tiene lugar el paso de los reptiles a los precursores de las aves: el *Archaeopteryx* y el *Archaeopteryx*. Estos animales presentaban el cuerpo cubierto de plumas, pero con las alas todavía provistas de dedos y garras. Hacen su aparición también los mamíferos. Dominan los grandes reptiles (dinosaurios, pterosaurios, brontosaurios, y otros) y una rica fauna íctica. Los mares de este período no son profundos y sus habitantes son presa fácil de los gigantes predadores. La flora está representada por las Cicadeas y las Coníferas, y tiene lugar la aparición de las Angiospermas monocotiledóneas.



dimentarias. La acción erosiva de los ríos sobre la tierra firme generó cuencas marinas. Posteriormente estos sedimentos se convirtieron en estratos rocosos. Las deformaciones ulteriores de la corteza terrestre provocaron la emersión de esas rocas sobre el nivel del mar, pasando a formar parte en muchos casos de las cadenas montañosas Alpinas.

Hoy día, los estratos del período Jurásico afloran en diversos puntos de Europa. La mayor extensión la alcanzan en Francia central y oriental, Suiza y Alemania meridional, especialmente en las montañas del Jura (que dan su nombre al período). Con menor extensión afloran también rocas jurásicas en Italia septentrional, en los Pirineos e Inglaterra. En la península Ibérica el Jurásico se presenta con cierta importancia en la parte externa del Sistema Penibético, en la Cordillera Ibérica y en el oeste de Portugal.

Como ya hemos dicho, durante el Jurásico la actividad orogénica fue escasa. Una excepción a esta regla es la de las cadenas costeras del Oeste norteamericano, las llamadas Montañas Rocosas, que precisamente en este período inician su com-

pleja historia formativa con un intenso episodio compresivo.

Existe, sin embargo, cierta controversia sobre la disposición que presentaban los continentes durante el Jurásico. Hoy en día sabemos que las masas continentales han ocupado posiciones distintas a las actuales como resultado de la dinámica de las placas litosféricas. Así, las reconstrucciones efectuadas confirman que al comienzo del Jurásico América del Sur, África, Australia, la Antártida y la península Indostánica estaban unidas formando un solo supercontinente (que los geólogos llaman Gondwana). En el norte, Europa y Asia estaban parcialmente cubiertas por el agua, de la que emergían grandes masas insulares. Asimismo, la parte oriental de América del Norte era, casi en su totalidad, una gran área de tierra emergida, mientras que la occidental estaba casi por completo sumergida. No obstante, durante el Jurásico serán aún frecuentes las variaciones del nivel del mar, con los consiguientes avances y retrocesos de las líneas de costa en extensas áreas del planeta.

Véase Deriva continental; Geología; Mesozoico

Laboratorio físico y químico

Se puede afirmar que los primeros laboratorios químicos surgieron en la Prehistoria, cuando los primeros "artistas" trituraban los minerales del hierro, yeso o carbón y experimentaban haciendo mezclas con grasas, aceites y cera para elaborar distintos colores. El almirez, utilizado todavía hoy para pulverizar sustancias químicas sólidas, fue inventado en época muy remota. Incluso el descubrimiento del fuego, el hallazgo químico más importante de todos los tiempos, pudo ser el resultado de las diversas pruebas y experimentos realizados.

El experimento El laboratorio es el lugar donde se llevan a cabo los experimentos. Tanto el lugar físico de un laboratorio como sus aparatos y el personal que en él trabaja tienen unas funciones encaminadas a un mismo objetivo; ello hace que

El mortero es quizá el instrumento de laboratorio más antiguo que se conoce. Sus representaciones aparecieron ya en las pinturas y en los bajorrelieves egipcios, sumerios, asirios y babilonios, que se remontan a 2.000 años a. de C. Este instrumento aparece también en los documentos de otras civilizaciones, como las de China y la India. Se puede afirmar que con su invención nació en cierto modo la Química. En efecto: lo que conocemos como reacción química se produce tan sólo cuando dos sustancias se ponen en contacto íntimo. Este contacto

se puede realizar dentro del mortero, aplastando y mezclando íntimamente las sustancias, que pueden ser sólidas o líquidas. El mortero recogido bajo estas líneas es un modelo antiguo de bronce. A la derecha, cuadro del pintor flamenco J. Stradano, obra que describe una imagen realista de un laboratorio alquimista, predecesor del moderno laboratorio químico. El siglo XVII es una centuria llena de fervor y de entusiasmo por la investigación científica. El método experimental de Galileo asienta las



en algunos casos muy concretos un laboratorio sea edificado en un lugar aislado y específico (como ocurre, por ejemplo, con los laboratorios espaciales).

Quizá el más famoso experimento científico de todos los tiempos haya sido la construcción de la primera bomba atómica. Probablemente, científicos como Oppenheimer, Teller y otros desconocían la forma de llegar a producir un explosivo ordinario utilizando la energía atómica. Con la ayuda económica del gobierno estadounidense estos científicos construyeron varios laboratorios dedicados a la investigación bélica, uno de los cuales, Los Alamos, en Nuevo México (EE UU), tiene las dimensiones de una ciudad. El acceso estaba prohibido a todo aquel que no trabajase en el experimento. Todos los instrumentos, así como los edificios, estaban allí con una única finalidad. De este modo, a pesar de enfrentarse repetidas veces con las perspectivas del fracaso, los científicos —en su mayoría físicos y algunos químicos— lograron construir una bomba,

que se hizo explotar por vez primera en el desierto de Nuevo México. Este experimento se llevó a cabo en el laboratorio más costoso que se haya construido hasta nuestros días. Aun siendo contrario a la bomba atómica, hay que reconocer que Los Alamos es un ejemplo ya clásico y paradigmático de lo que debe ser un laboratorio de Física. Además, algunos de los más prestigiosos científicos de este siglo trabajaron directamente en aquel experimento, o por lo menos colaboraron.

Primeros laboratorios de Física

La Física no es una ciencia puramente de laboratorio; más allá del aspecto experimental, existe un aspecto teórico. La mayor parte de los descubrimientos físicos más importantes no se realizó precisamente en un laboratorio. El célebre trabajo de Isaac Newton sobre la ley de la gravedad fue resultado más de las observaciones realizadas anteriormente por Brahe o Kepler que de los experimentos realizados en laboratorio.



Teniendo presente esto, se puede todavía recorrer el desarrollo de la historia de la Física como ciencia, ya que es un saber que se ha basado principalmente en mediciones.

En la Antigüedad, egipcios y babilonios establecieron algunas unidades de medida. Diseñaron calendarios y fabricaron relojes de Sol; definieron los cubos y varias medidas de longitud e inventaron diversos tipos de contenedores que eran medidas de capacidad para ciertas sustancias, como los granos de cereales. Los griegos desarrollaron diversos experimentos de laboratorio. Pitágoras, por ejemplo, intentó con varios experimentos determinar las octavas musicales mediante las vibraciones de las cuerdas. Arquímedes realizó experimentos sobre la densidad de líquidos y sólidos. Herón de Alejandría demostró experimentalmente que un rayo de luz reflejado recorre en el espacio la trayectoria más corta.

Cualquier laboratorio de Física, ya sea un laboratorio escolar, una pequeña esta-



→ bases de la Física moderna con la formulación de las leyes fundamentales de la Mecánica gravitatoria, mientras que Pascal descubre los fundamentos de la Hidrostática y Huygens estudia la Geometría de la reflexión de la luz e investiga en otros campos de la Óptica.

Los aparatos dibujados a la derecha de estas líneas son una parte de los dispositivos que puso a punto el químico sueco J. J. Berzelius (1779-1848),

uno de los fundadores de la Química moderna. Se puede observar que el diseño de muchas piezas de vidrio es de plena actualidad, así como las diversas conexiones y empalmes de aparatos más complejos. Un ejemplo de esto son los aparatos de destilación, la retorta (1), el matraz (8) con embudo para su llenado y el matraz colector colgado con una botella de borboteo para absorber las sustancias volátiles y evitar excesos de presión dentro del instrumental utilizado en la destilación. Dignos de mención son: la balanza hidrostática (5), el gasómetro (4) y los hornos para la fundición de los minerales (12) y (13).

ción meteorológica o un gran laboratorio conteniendo un ciclotrón, está equipado con aparatos de medida, desde un sencillo pluviómetro hasta un sofisticado contador Geiger. La función de estos aparatos consiste en la reducción de los fenómenos a medidas concretas, y las medidas, a su vez, a números; la Física es, en efecto, una ciencia matemática y todas las leyes físicas están formuladas y expresadas mediante ecuaciones matemáticas.

Laboratorios de Física para la investigación A pesar de los experimentos esporádicos habidos en la Antigüedad, el primer laboratorio físico fue organizado por Galileo con el fin de estudiar las leyes fundamentales del movimiento. Para realizar ese estudio, construyó un laboratorio especial que le permitiese experimentar haciendo caer y rodar esferas según planos horizontales o inclinados y midiendo el tiempo invertido en cada recorrido. Instaló péndulos con el fin de analizar su movimiento, y descubrió que el período de un péndulo es proporcional a la raíz cuadrada de su longitud. Los distintos experimentos tenían un nexo de unión y una secuencia lógica; se llevaban a cabo con un método rigurosamente científico, y revelaron de manera sistemática cómo se mueven realmente los objetos, llegando finalmente a definir las leyes de la caída en el campo gravitatorio terrestre.

Laboratorios con fines especiales En tiempos de Galileo, la mayor parte de los laboratorios estaban contruidos en función de un único y específico fin. Más modernamente, Albert Michelson y E. W. Morley, por ejemplo, montaron espejos giratorios de alta velocidad y otros aparatos sobre un monte de California para comprobar si en efecto la luz viajaba a través de un medio invisible y de naturaleza desconocida llamado "éter".

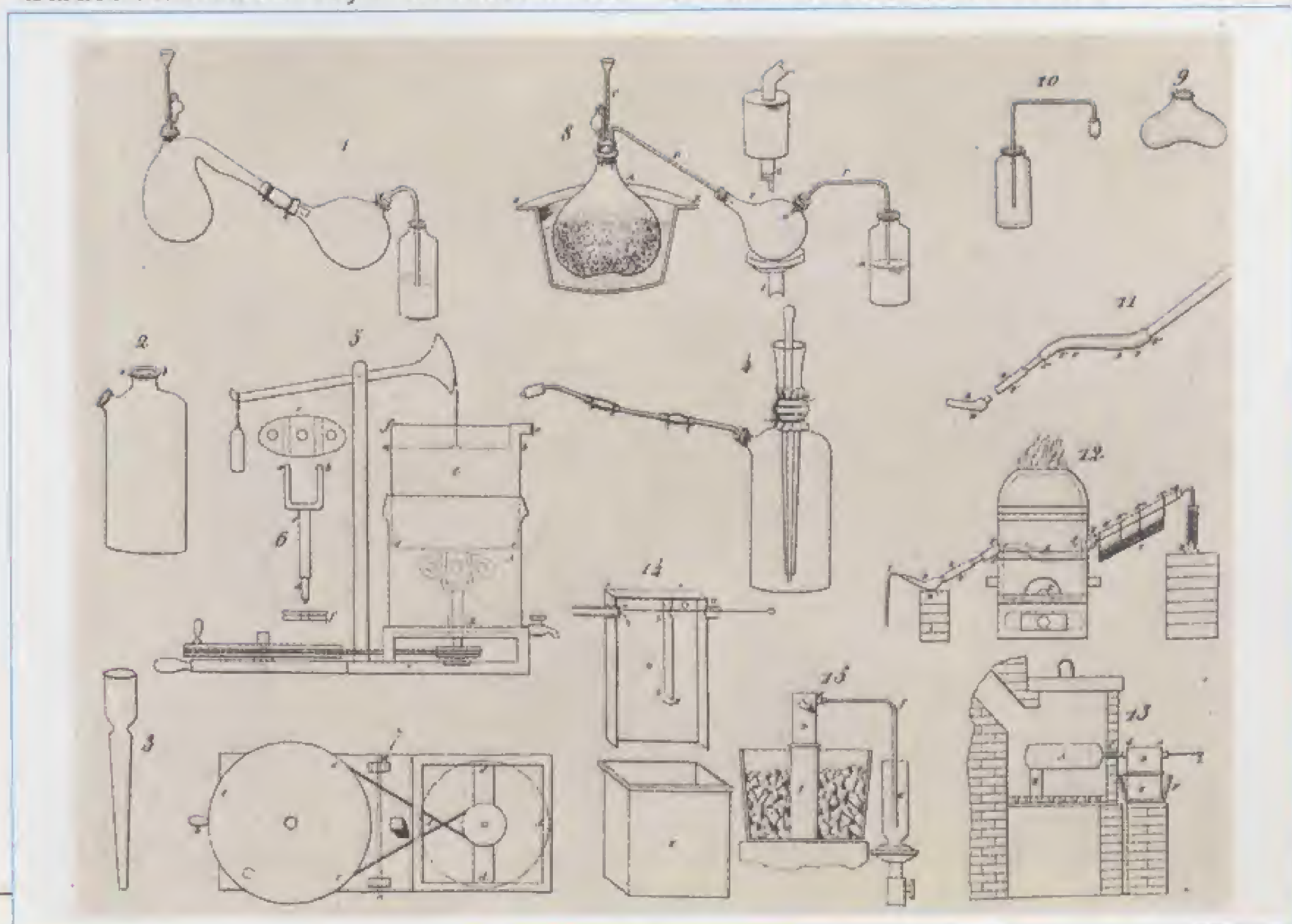
Algunos túneles de viento están contruidos con el único objeto de controlar las

alas de los aviones experimentales. El aire es impulsado sobre las alas con velocidades cercanas a los 1.600 km/h; los investigadores lo examinan a simple vista, a la vez que potentes computadoras recogen datos procedentes de decenas de sensores colocados en el interior de las alas. Si éstas superan con éxito la prueba en el túnel de viento, serán instaladas en sus respectivos prototipos, que a su vez experimentarán los pilotos de pruebas.

En la actualidad, los laboratorios de mayor complejidad son los destinados a la investigación nuclear, ya que están utilizando, a manera de proyectiles, partículas subatómicas de alta energía. Dichas partículas resultan aceleradas al ser conducidas, mediante campos eléctricos y magnéticos, a través de conductos vacíos de varias decenas de kilómetros de perímetro. Tal es el caso del Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN) de Ginebra, de 30 km de circunferencia, en el que colaboran científicos de diversos estados de Europa Occidental.

Historia de los laboratorios químicos Los antiguos papiros y pinturas demuestran que los egipcios montaron laboratorios que, utilizando la terminología actual, llamaríamos "laboratorios industriales". En estos laboratorios los artesanos aprendían a extraer los metales de los minerales, a realizar pruebas con ellos, a forjarlos y a mezclarlos en aleaciones (como el bronce), experimentaban y trabajaban el vidrio y, en algunos, producían medicamentos. Los artesanos de estos antiguos laboratorios anotaban los diversos procedimientos, escribían las fórmulas que utilizaban, descartaban las pruebas negativas y establecían las que sí tenían éxito: toda una técnica que actualmente permanece vigente en los más modernos laboratorios.

Muchos productos químicos importantes y de uso común hoy en día fueron producidos en el transcurso de la Edad Me-



dia por alquimistas que construyeron, mantuvieron y desarrollaron los primeros, verdaderos y complejos laboratorios. De esta manera, se logró producir, por ejemplo, el ácido sulfúrico y destilar sustancias químicas tales como el alcohol de alta graduación. Para llevar a cabo sus experimentos, estos hombres hacían uso de sustancias de lo más curioso, utilizando compuestos de azufre y metales e incluso mezclas a base de alcohol, osamentas, piel de sapo, etc. Sin embargo, a pesar de tan singulares laboratorios, los alquimistas lograron realizar progresos notables, hasta el punto de que se puede afirmar que la Química moderna nació como fruto de su gran labor empírica.

Laboratorios químicos Mientras que la labor de un físico puede desarrollarse a menudo fuera de lo que se define por lo general como un laboratorio, la Química es claramente —aunque no exclusivamente— una ciencia de laboratorio. Los laboratorios químicos actuales tienen su origen no sólo en los laboratorios de alquimistas, sino también en las boticas de los farmacéuticos, donde se preparaban sustancias medicinales.

Muchos laboratorios se han establecido con la finalidad de analizar compuestos químicos desconocidos o para aislar algunos elementos y/o compuestos de ciertas sustancias químicas, de tejidos orgánicos, rocas, metales, gases y minerales.

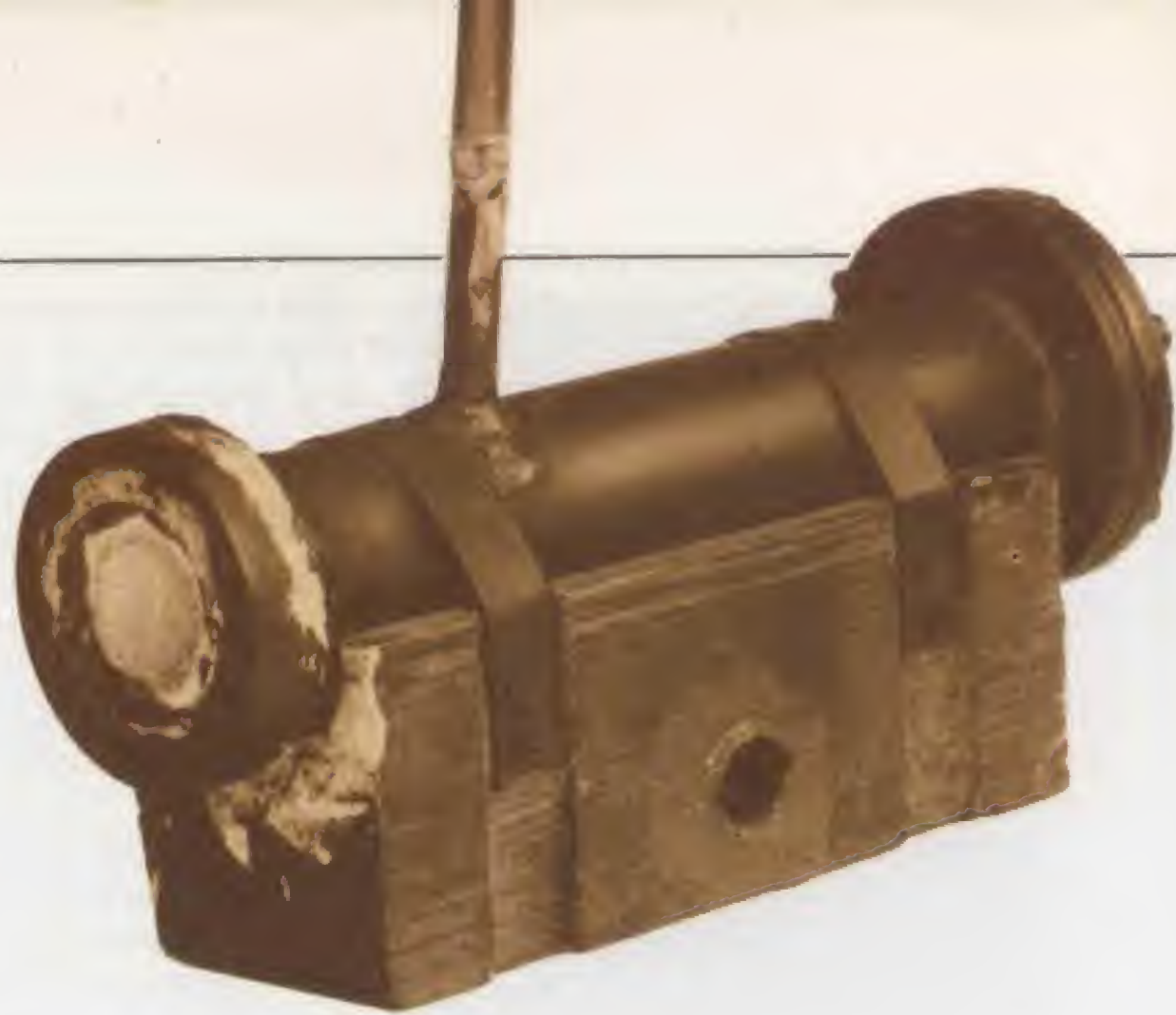
Análisis cualitativo La labor desarrollada en los laboratorios de análisis se puede dividir en dos fases. La primera fase consiste en aislar cada una de las sustancias químicas presentes en una muestra dada. Esta fase requiere de una serie de análisis sistemáticos. Si la muestra es inorgánica, lo normal es que primero se

disuelva en un ácido, reacción que induce generalmente a la agrupación de sustancias específicas para formar un precipitado perteneciente a algún tipo de sal, que se puede aislar perfectamente mediante sus características físicas o químicas (por ejemplo, observando el cambio de color). Con posterioridad se puede someter estas sales a diversos tratamientos o experimentos con el fin de evidenciar otras características. Así, a través de una serie gradual de exámenes, se puede llegar a aislar e individualizar todos los elementos de un cierto compuesto químico.

A veces se recurre a otros métodos para ahorrar tiempo, tales como utilizar el calor de una llama, análisis espectroscópicos (identificación de un elemento mediante el análisis de la radiación luminosa emitida) y otros tratamientos que ayudan

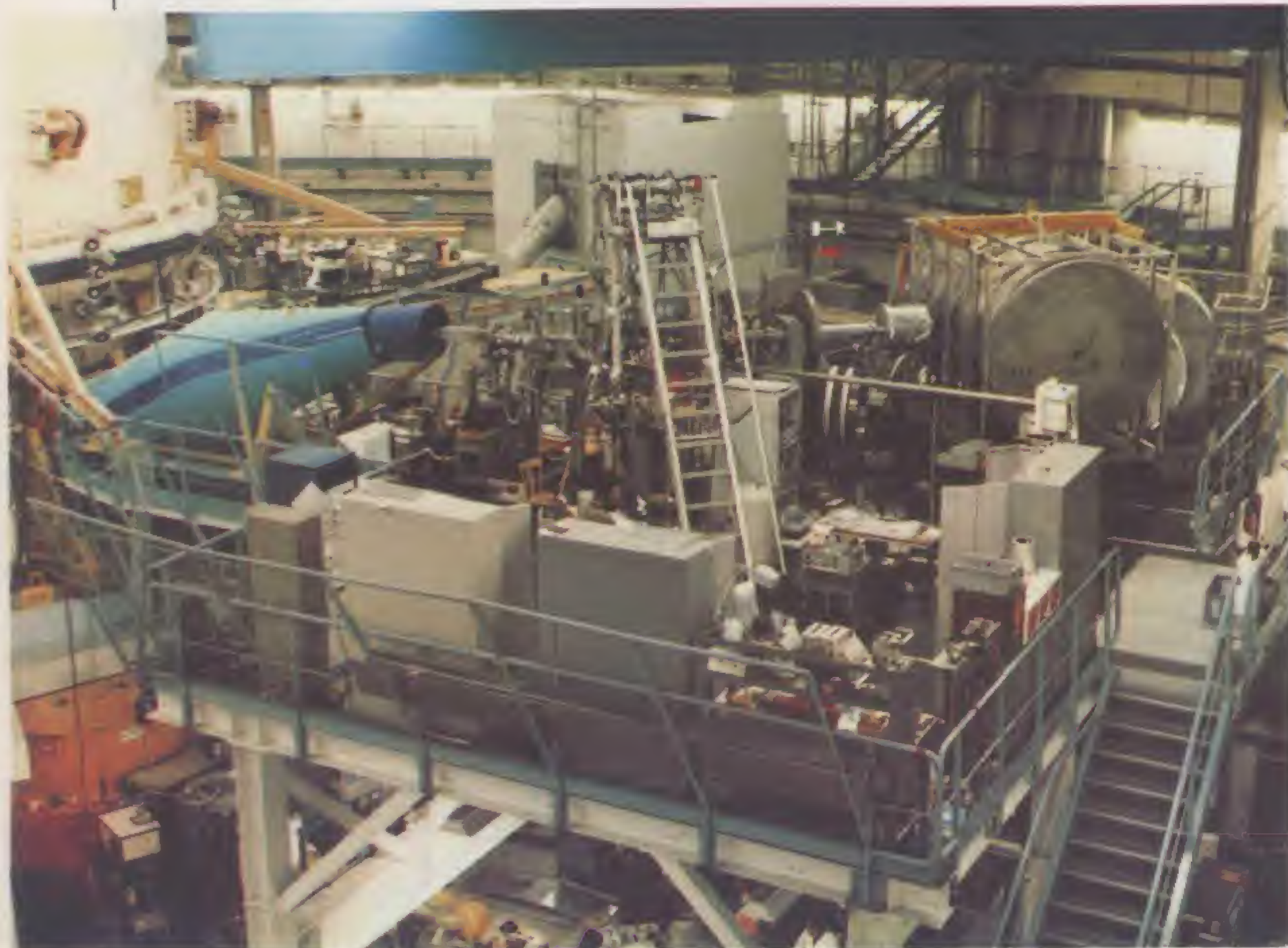
Junto a estas líneas puede verse la reproducción de un aparato de importancia histórica: la "cámara de neutrones" que sirvió como fuente de neutrones al físico inglés James Chadwick. El descubrimiento del neutrón, realizado en 1932, dio paso a una serie de descubrimientos que, a partir de lo realizado por colaboradores de Fermi en la Universidad de Roma y más tarde en Chicago, culminaron con la demostración práctica de las reacciones en cadena para la fisión del uranio. En los pequeños laboratorios universitarios es donde tuvieron lugar los trabajos que sirvieron de base a los que

después se llevarían a cabo en los grandes laboratorios de Los Alamos para la obtención de la bomba atómica.



a revelar la identidad de una sustancia a partir de alguna de sus propiedades físicas. Los gases, por ejemplo, se pueden hacer fluir a través de una serie de compuestos que tienen la propiedad de absorber sustancias específicas en tiempos diversos. Este procedimiento, llamado *cromatografía de gases*, es utilizado para separar los componentes de mezclas gaseosas o de sustancias que pueden pasar al estado de vapor. Otro tipo de sustancias puede ser aislado mediante el conocimiento de su peso específico. Incluso el análisis con rayos X puede servir para reconocer la naturaleza de una sustancia orgánica o inorgánica. Con este método se identificaron las moléculas de ADN presentes en todos los seres vivos.

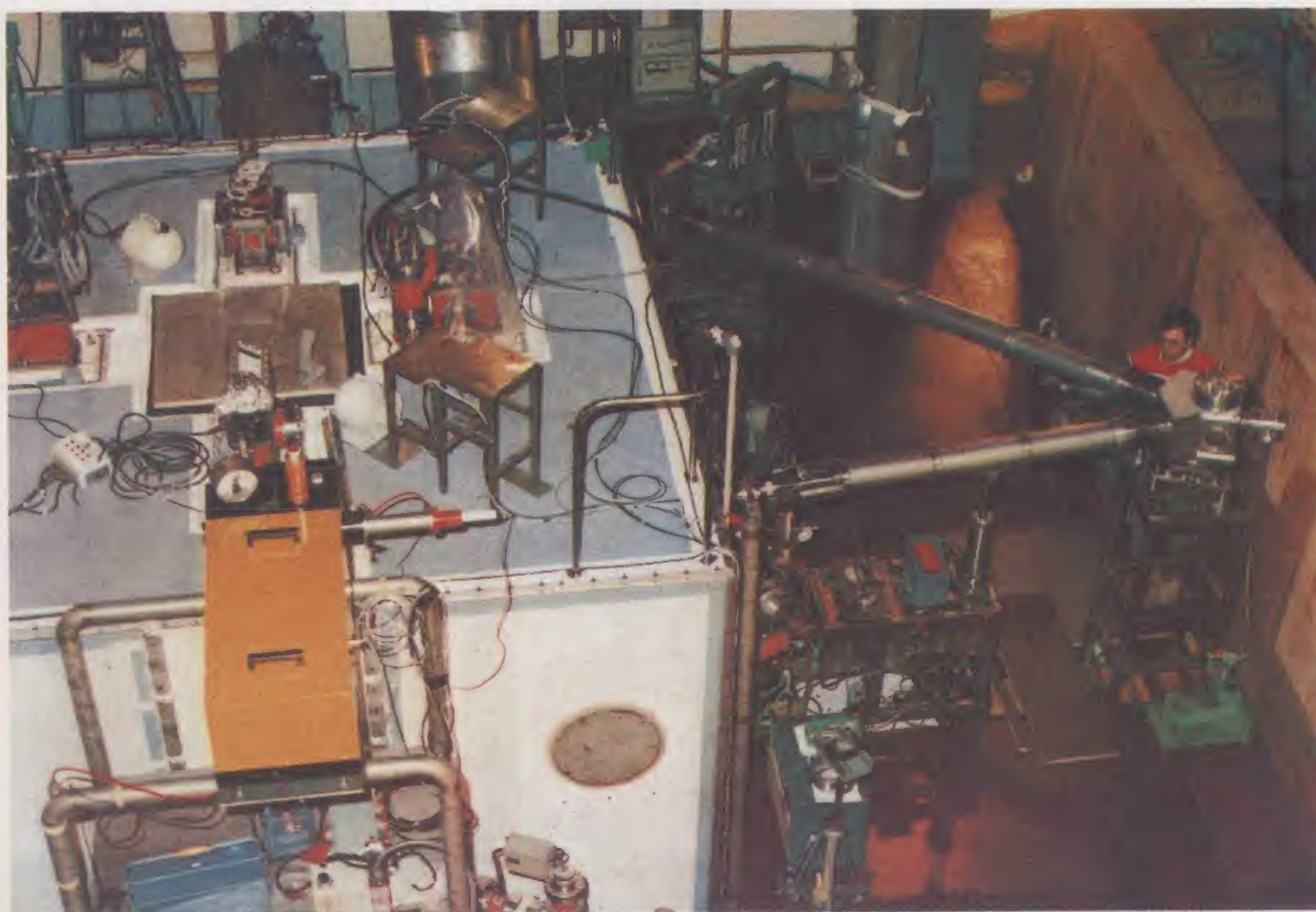
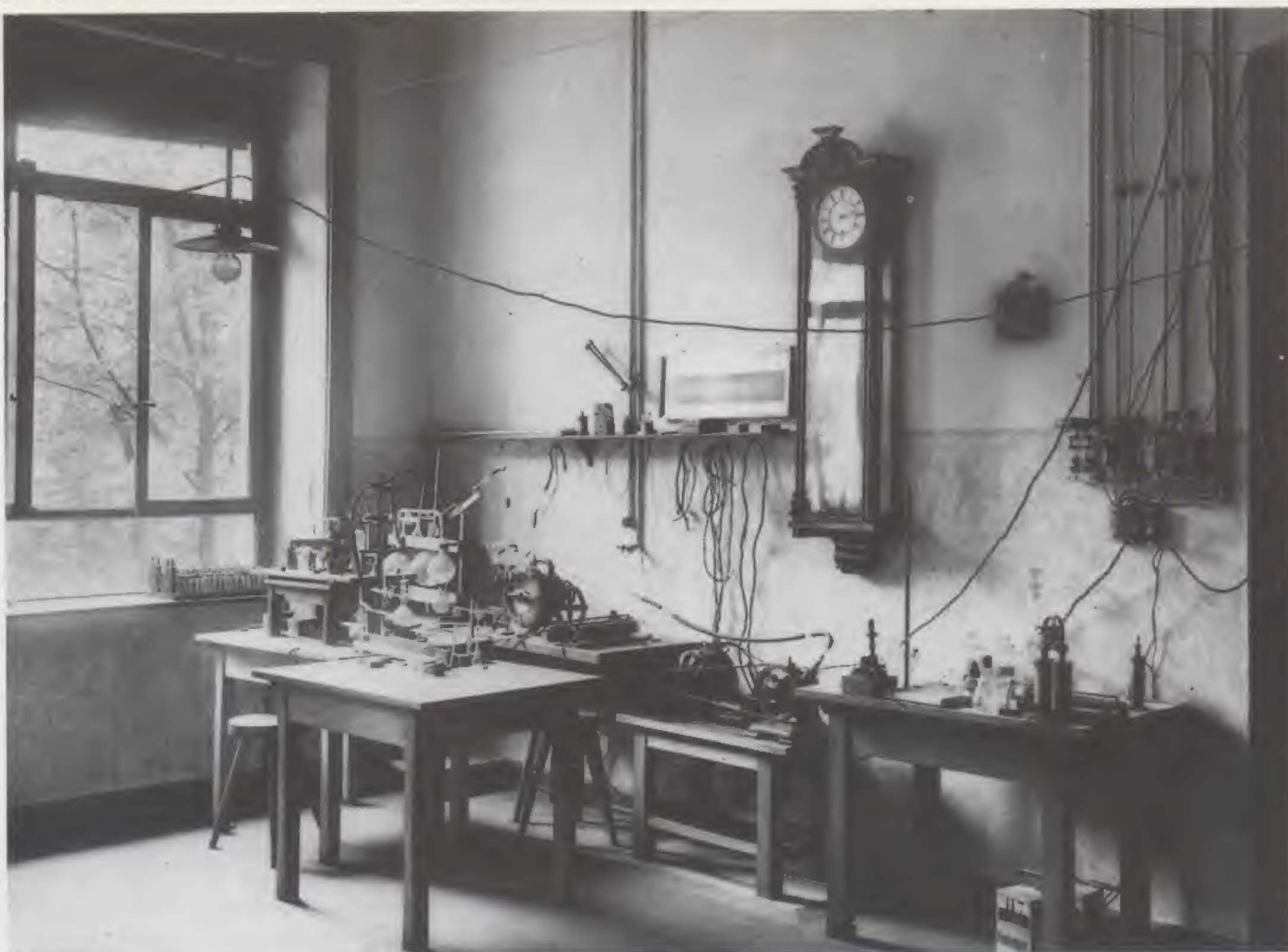
Análisis cuantitativo El análisis cuantitativo consiste en identificar en qué cantidad se encuentran presentes elementos o compuestos en una sustancia determinada. El análisis cualitativo puede establecer, por ejemplo, que cierta sustancia contiene sodio, nitrógeno y oxígeno, pero no



A la izquierda, un reactor de investigación cuya función es la de suministrar neutrones "ultrafríos". Constituye una parte de los laboratorios de Física nuclear del Instituto "Laue Langevin" de Grenoble (Francia). Los neutrones llegan agrupados a través de un tubo inclinado y fuertemente protegido; luego, son dispersados en tres direcciones con objeto de medir el momento del dipolo eléctrico del neutrón, para medir las transiciones y finalmente para calcular los tiempos de almacenamiento. Los progresos en el campo de la investigación física han obligado a modificar incluso las características estilísticas y distributivas de los edificios destinados a albergar los laboratorios, dada la necesidad de utilizar

aparatos enormes, y aun imponentes, para efectuar los diversos experimentos. Pero en general, y a pesar de los progresos efectuados en el campo de la Electrónica —con la introducción de los circuitos integrados, que permiten la concentración de funciones en espacios extremadamente reducidos— las prestaciones requeridas son cada vez más elevadas: Un ejemplo lo constituye el espectrómetro de rayos X de cristales curvos que se puede apreciar en la foto de la página siguiente (abajo), y que ha sido instalado cerca de los laboratorios de investigación del Ente Nacional para las Energías Alternativas (ENEA) de Frascati (Italia); los brazos de este espectrómetro tienen una longitud de casi veinte metros!

El laboratorio de Física de W. K. Röntgen (1845-1923) en la Universidad de Würzburg, Alemania (a la derecha), da una idea de cómo se disponía el instrumental de un laboratorio físico del siglo pasado. En este lugar, el gran científico alemán descubrió los rayos X y sus propiedades de penetración en los cuerpos. Se puede observar la sencillez y funcionalidad del mobiliario y la modestia de los instrumentos. A la postre, ha sido en lugares como éste donde se han realizado los descubrimientos iniciales más revolucionarios, sin los cuales no se hubiese dado un desarrollo tan espectacular como el que ha experimentado la ciencia en este último siglo. Una constatación del cambio se produce, al confrontar este laboratorio de Física con las dos fotos de los modernos laboratorios recogidas en la parte inferior de esta página y de la anterior.



indica si se trata de nitrato de sodio (NaNO_3) o nitrito de sodio (NaNO_2). Únicamente un análisis de las respectivas cantidades de cada uno de los elementos contenidos en la sustancia revelará la exacta proporción de sodio, nitrógeno y oxígeno. Gran parte de los análisis cuantitativos se realiza midiendo exactamente tanto los pesos como los volúmenes de los distintos compuestos. Para efectuar algunos análisis cuantitativos, se puede determinar la cantidad de una sustancia específica que es necesaria para neutralizar o para transformar de manera observable otra sustancia. También se puede proceder de otra forma: analizando las diferentes reacciones habidas con distintos compuestos químicos.

La labor necesaria en el análisis cuantitativo es frecuentemente meticulosa y también aburrida. Sin embargo, ocurre a veces que algunos análisis sencillos y rápidos permiten ya revelar la naturaleza real de un compuesto, aunque sea en términos cuantitativos. En el análisis cuantitativo se ha demostrado que el empleo de aparatos automáticos facilita y hace más práctico el estudio de una serie de distintas muestras.

Algunas sustancias químicas son más difíciles de analizar, ya que puede ocurrir que dos compuestos tengan elementos con el mismo número de átomos, pero con una estructura distinta y por consiguiente diferentes propiedades químicas. Estos compuestos químicos se llaman *isómeros*. El butano y el isobutano son isómeros. Poseen la misma fórmula química (C_4H_{10}),



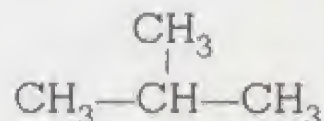
El vidrio es un material de uso indispensable en los laboratorios químicos. Debido a su inercia química, es la sustancia más adecuada para preparar los recipientes en los cuales tienen lugar las reacciones químicas. Ejemplos de su aplicación pueden observarse en la foto de arriba, donde se distinguen varios instrumentos: vasos de precipitados "Becker" de diversas capacidades, matraces "Erlenmeyer" normales y de filtración a vacío o "Kitasato", tubos de ensayo en su "portatubos", matraces aforados suspendidos mediante pinzas. Aparecen también tubos de vidrio que pueden ser moldeados al fuego con diversas formas, según los requerimientos, e igualmente los tubos de goma para las conexiones. Las mesas, como la que se puede observar en la foto a la izquierda de estas líneas, son la base del mobiliario de

un laboratorio químico. El plano de trabajo o "poyata" está hecho con material anticorrosivo (baldosas esmaltadas o de gres). Es de gran utilidad que la mesa esté dotada de pequeñas repisas donde se puedan disponer los frascos de productos químicos para facilitar su manejo. En la parte superior derecha de la página siguiente hay una foto en la que puede verse un aparato destinado a la destilación fraccionada en vacío. Este instrumento es esencial en el laboratorio químico, pues permite la separación de los compuestos químicos de una mezcla en función de sus respectivos puntos de ebullición. El líquido contenido en el matraz situado en el calentador se somete a ebullición. Entre las sustancias vaporizadas que fluyen a través de una columna de rectificación, las menos volátiles se condensan y vuelven al matraz de

aunque el butano tiene sus cuatro átomos de carbón unidos linealmente, mientras que el isobutano se caracteriza por una estructura ramificada. La fórmula del butano es:



mientras que la fórmula de isobutano es la siguiente:



Los isómeros pueden ser reconocidos, la mayor parte, según sus diversas reacciones con otros elementos, mediante análisis con rayos X o con espectrofotómetro y a partir de diversas propiedades físicas.

En general, todos los laboratorios de análisis químico deben estar dotados de aparatos que permitan realizar análisis cualitativos y cuantitativos de una vasta gama de sustancias químicas. Por lo tanto, son necesarios instrumentos especiales, como probetas, mecheros Bunsen, filtros, balanzas muy precisas, pipetas y buretas para análisis gravimétricos y volumétricos, etcétera.

Algunos laboratorios pueden estar equipados también con aparatos de rayos X, centrifugadoras y espectroscopios. Las radiografías permiten revelar la estructura de los cristales; las centrifugadoras, la densidad; y los espectroscopios, la presencia de elementos específicos.

Los laboratorios químicos también están provistos de *reactivos*, que son sustancias expresamente preparadas para descubrir —a través de una o más reaccio-

nes químicas— la naturaleza de otras sustancias. En otras palabras, los reactivos se utilizan para hallar otras sustancias químicas. Por ejemplo: el yodo, utilizado como reactivo, puede revelar de inmediato la presencia de almidón en los alimentos, ya que una sola gota de yodo dará al almidón una coloración azul oscura.

Otro tipo de laboratorios químicos No todos los experimentos químicos se realizan en lo que se define comúnmente como un laboratorio químico típico. Un ingeniero agrónomo, por ejemplo, puede abonar diversas parcelas de maíz con fertilizantes distintos para controlar los resultados. En este caso, el laboratorio está constituido por el propio campo de maíz. Todos los progresos llevados a cabo con el fin de aumentar la producción agrícola se han realizado en estos "laboratorios" de campo. En otros casos, un químico puede analizar el agua procedente de un glaciar en el Antártico. Para ello lleva consigo el instrumental necesario, instalando un laboratorio portátil.

En los desiertos, lejos de cualquier zona habitada los buscadores de metales hacen los análisis cualitativos tratando los minerales con ácidos y quemándolos en hornillos para verificar las reacciones de pequeñas partículas de mineral en el fuego. Estos mismos análisis confirman la presencia en los minerales de numerosos metales de interés industrial.

Véase **Análisis clínico; Análisis químico; Control de calidad; Cromatografía de gases; Física; Microanálisis; Química; Skylab**

→ ebullición, mientras que las más volátiles alcanzan el extremo de la columna y, una vez que han pasado la zona de refrigeración, vuelven al estado líquido, confluyendo en el matraz colector. Abajo, a la derecha de estas líneas, la automatización del laboratorio químico puede lograr el control y el registro de datos obtenidos de sus

instrumentos. Los sistemas de automatización prevén la conexión de una computadora con los aparatos y la puesta a punto de programas que gestionan las funciones de los instrumentos analíticos, a la vez que la elaboración del cúmulo de datos obtenidos, con la flexibilidad requerida por las mismas



ESQUEMA DE AUTOMATIZACION DE UN LABORATORIO DE ANALISIS

→ exigencias del laboratorio en cuestión. Los beneficios a obtener son muchos: se simplifica al máximo el desarrollo de análisis complejos y se obtienen los datos analíticos, expresados en unidades de medida adecuadas, de forma automática en sus certificados (fichas) de análisis.



Laboratorio fotográfico

Los materiales sensibles utilizados en fotografía —tanto películas como papel emulsionado— requieren, para poder llegar a ser observados a plena luz en forma de negativo, papel o diapositiva, una serie de tratamientos que exige la utilización de productos químicos en disolución. El lugar convenientemente acondicionado y equipado donde se llevan a cabo esas labores se conoce como *laboratorio fotográfico*.

Los procesos de revelado de material en color, en otro tiempo complicados y tediosos, sujetos a una dependencia muy crítica de la temperatura, han dejado de ser patrimonio de los laboratorios profesionales gracias a la introducción de nuevas técnicas. Los procesos se han simplificado hasta el punto de que cualquier aficionado cuidadoso puede acceder a ellos adecuando un pequeño espacio de su vivienda que cumpla una serie de requisitos mínimos.

En principio, cualquier habitación limpia de polvo en que pueda conseguirse una oscuridad completa y que tenga acceso a tomas eléctricas es suficiente. La disponibilidad de una pila de agua corriente es también aconsejable, aunque no imprescindible. Si el espacio es suficientemente amplio, se establece una separación entre el área húmeda, o zona en donde de alguna manera intervenga el agua (procesos de revelado de negativos y copias), y el área seca (exposición de copias y secado).

Procesado de negativos El equipamiento básico necesario para el tratamiento de negativos es el siguiente: un *tanque* estanco a la luz para el revelado de los negativos. De forma generalmente cilíndrica y fabricado en material plástico o acero, consta en su interior de una pieza en espiral en la que se enrolla la película sujeta por sus bordes dentados, impidiendo el contacto de unas partes con otras y facilitando la entrada del agente revelador a toda la superficie expuesta para conseguir un resultado uniforme. Su diseño está concebido de tal modo que, una vez introducidos los líquidos, éstos pueden ser cambiados a plena luz.

Para el revelado de negativos en blanco y negro, son necesarios sólo dos baños, revelador y fijador, aunque es muy conveniente un lavado profundo entre ambos con agua y unas gotas de un agente que detenga la acción del revelador, usualmente ácido acético o el propio fijador ya utilizado. En los procesos de color, el número de baños puede variar, dependiendo de que se trate de negativo o diapositiva e incluso del tipo de película. En cualquier caso, para guardar los líquidos, son necesarias botellas opacas que eviten o atenúen la oxidación concentrada, por lo que el fotógrafo debe proceder a preparar la dosis que necesite diluyendo los productos químicos en agua con ayuda de una probeta graduada y recipientes de diversos tamaños, en las proporciones indicadas por el fabricante.

El secado de los negativos, una vez completado el proceso de revelado, se efectúa en armarios preparados para ese fin, o simplemente colgándolos en un lugar limpio y sin movimientos de aire.

Procesado de copias Para el procesamiento de copias, el instrumento más importante es la *amplificadora*. En su versión más sencilla consta de una lámpara con un difusor y un condensador del haz luminoso, que proyecta luz uniformemente a través de un sistema óptico sobre un tablero. La película se sitúa justo detrás de la óptica u objetivo, obteniéndose una imagen ampliada del negativo sobre el tablero. El enfoque se realiza mediante un desplazamiento del objetivo según el eje óptico. Del mismo modo que las cámaras, los objetivos de las amplificadoras van dotados de un diafragma para variar la profundidad de campo —un diafragma muy cerrado puede compensar posibles errores de enfoque— y, sobre todo, para graduar el paso de luz. El conjunto va sujeto a un eje por el que se desliza, pudiendo ajustarse a voluntad el tamaño de la copia.

Sobre el tablero se coloca el papel emulsionado, fijándose en su posición por medio de un *marginador* o bastidor metálico que evita que el papel se curve.

Los tiempos de exposición dependen de una gran cantidad de factores: la separación del tablero con el objetivo, el diafragma utilizado, la densidad del negativo, la sensibilidad del papel, etc. Antes de proceder a ampliar una copia conviene realizar una prueba de una parte representativa del negativo para asegurar que el tiempo elegido es el correcto. El ajuste del tiempo se establece con la ayuda de un *reloj temporizador* directamente conectado a la amplificadora, manteniéndola iluminada el tiempo prefijado.

Los papeles emulsionados de uso común no son sensibles a una pequeña banda de radiación visible comprendida entre el rojo y el naranja. Esto es así para evitar que todo el proceso de positivado deba efectuarse en absoluta oscuridad. En el mercado se encuentran distintos tipos de lámparas concebidas para este fin y conocidas como *luces de seguridad*, que permiten una cómoda manipulación de los papeles durante todo el proceso.

Para el positivado de copias en color a partir de diapositivas y, sobre todo, de negativos, es necesario proceder a un "filtraje" de color, es decir, deben compensarse los colores dominantes presentes en el negativo que no existen en el motivo fotográfico, pero que aparecerían si la copia se procesara utilizando luz blanca en la exposición. El método más económico —aunque también el más laborioso— de filtrar consiste en utilizar un juego de *filtros de acetato* de densidad variable y de color amarillo, cyan y magenta —colores éstos complementarios de los primarios— y una *tabla de color* en donde aparece un mosaico de tonalidades dominantes sobre un mismo motivo con las correcciones que deben realizarse en cada uno. El pri-

mer paso es procesar una prueba expuesta con luz blanca y compararla con la tabla de color: ésta nos indicará los filtros que deban colocarse en el cajetín de la amplificadora y su densidad para corregir la dominante. Es importante anotar las condiciones en que se ha realizado la prueba, especialmente en lo que se refiere a la temperatura de los baños y al tiempo de exposición, para reproducirlos idénticamente en el procesamiento de la copia definitiva. Si no es así, los resultados pueden no ser correctos debido a la fuerte dependencia de los colores respecto a la temperatura.

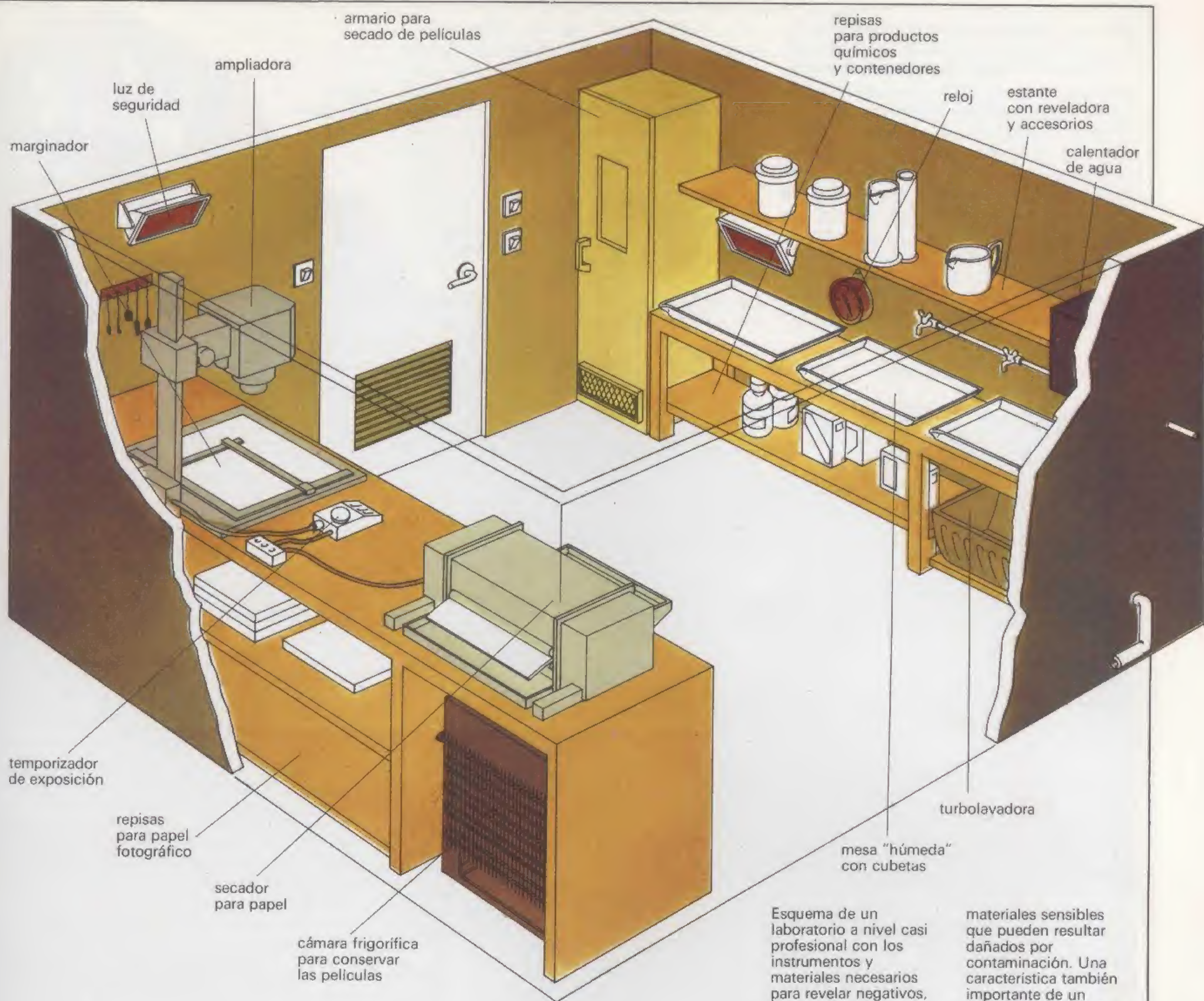
Un procedimiento más rápido y cómodo de filtrar se obtiene con el empleo de amplificadoras dotadas de *cabezal de color*. En ellas los filtros están incorporados y pueden ajustarse con sólo girar tres pequeños diales, uno para cada color.

Las lecturas de los filtrajes necesarios y el tiempo de exposición requerido pueden simplificarse enormemente si se dispone de un *analizador de color*. Este instrumento consta de un sensor y del analizador propiamente dicho, constituido por una serie de circuitos electrónicos. El sensor se sitúa sobre el tablero en el área de la imagen de mayor interés o bien en el centro con un difusor para obtener un filtraje promedio de todo el negativo. Las densidades requeridas se leen en el cuerpo del analizador por medio de una aguja o de diodos luminosos, según el modelo utilizado.

El procesamiento de papeles El revelado de los papeles emulsionados se lleva a cabo en el área húmeda. Los baños se vierten sobre cubetas de material plástico. Tres son suficientes para positivizar blanco y negro y para la mayor parte de los actuales procesos de color. Existe en el mercado un tipo de cubeta termostataada que permite ajustar el baño a la temperatura deseada, pudiendo de este modo trabajar en las condiciones óptimas recomendadas por el fabricante de los agentes reveladores, despreocupándose de la temperatura del laboratorio.

En algunos procesos de color el ajuste de la temperatura de los baños es crítico, con tolerancias permitidas de tan sólo $\pm 0,5^\circ\text{C}$. En estos casos, el uso de cubetas termostataadas es imprescindible. No obstante, los fabricantes, conscientes de la dificultad que entraña para un aficionado una exigencia de este tipo, están comercializando, cada vez en mayor número, productos susceptibles de ser utilizados en un amplio margen de temperaturas. En cualquier caso, los tiempos requeridos tienen una fuerte dependencia de aquéllas. Las reacciones químicas responsables de los cambios que se producen en las superficies sensibilizadas se aceleran a medida que la temperatura se aumenta, por lo que el tiempo requerido para la obtención de una copia puede reducirse considerablemente con sólo elevar la temperatura del termostato.

Esta propiedad de los nuevos *kits* de



Esquema de un laboratorio a nivel casi profesional con los instrumentos y materiales necesarios para revelar negativos, películas en color y para realizar copias, tanto en blanco y negro como en color. Es muy importante tener bien separados los productos químicos para el revelado y fijado, de los

materiales sensibles que pueden resultar dañados por contaminación. Una característica también importante de un laboratorio fotográfico es la comodidad para entrar y salir sin peligro de que entre luz desde el exterior y la iluminación adecuada para el material con el que se trabaja.



Arriba, vista superior de un analizador de color. Este pequeño instrumento, colocado sobre el tablero de la ampliadora, calcula el tiempo de exposición y las densidades de los filtros que deben utilizarse (amarillo, cyan y magenta) para obtener un correcto resultado cuando se revelan copias en color. El sensor situado en la parte izquierda de la fotografía mide los colores dominantes. El filtraje se determina accionando las ruedas giratorias de los costados hasta que los dos pequeños diodos luminosos de la parte inferior izquierda se iluminan

procesado, y la disminución del número de baños necesario, está conduciendo a un notable aumento en la afición al tratamiento del material en color, negativos, procesos negativo-positivo papel, y directo diapositiva-positivo papel, y no es disparatado pensar, a la vista del importante avance en el desarrollo de la química fotográfica en los últimos años, que la técnica del color alcance la sencillez del blanco y negro, y que todas las dependencias mencionadas pasen ya a formar parte de la historia.

Véase **Cámara fotográfica; Fotografía; Fotografía, iluminación**

Lago

Para la mayoría de las personas, el lago —a menudo situado en un marco de montañas nevadas y de grandes extensiones boscosas— constituye un espléndido paisaje de apariencia inmutable. Sin embargo, los lagos son tan sólo fenómenos pasajeros, poco más que pozas de agua si los consideramos en la enorme amplitud de la escala geológica. Sean las charcas ocasionales que se forman durante un período lluvioso actual, sean los grandes lagos de más de 80 km de anchura y de hasta millones de años de antigüedad, todos ellos representan una discontinuidad en el drenaje de la superficie terrestre.



Formación de los lagos Pese a su apariencia similar, los lagos pueden tener muy diferentes orígenes. Por un lado, los seres vivos (el hombre y algunos animales, como los castores) construyen diques para interrumpir intencionadamente el curso de arroyos y ríos, que generan aguas estancadas. Por otro, han sido los glaciares, terremotos, desprendimientos, explosiones volcánicas y coladas de lava los agentes que, al obstruir el curso de las aguas o generar depresiones que permiten la acumulación de las mismas, han dado origen a la mayoría de los lagos pasados y presentes. Incluso la acción del

viento con el paso del tiempo puede erosionar depresiones que llegan a convertirse en cuencas lacustres.

Los lagos más antiguos de nuestro planeta son en gran parte de *origen tectónico*, es decir, han sido formados como consecuencia de los movimientos de la corteza terrestre. Por ejemplo, el lago Baikal, en la Unión Soviética, y el lago Tanganica, en África —que son, además, los lagos más profundos del mundo— se han formado a consecuencia de movimientos de fallas. En Europa destacan los lagos de Neuchâtel y Bienne, en Suiza, de origen también tectónico.

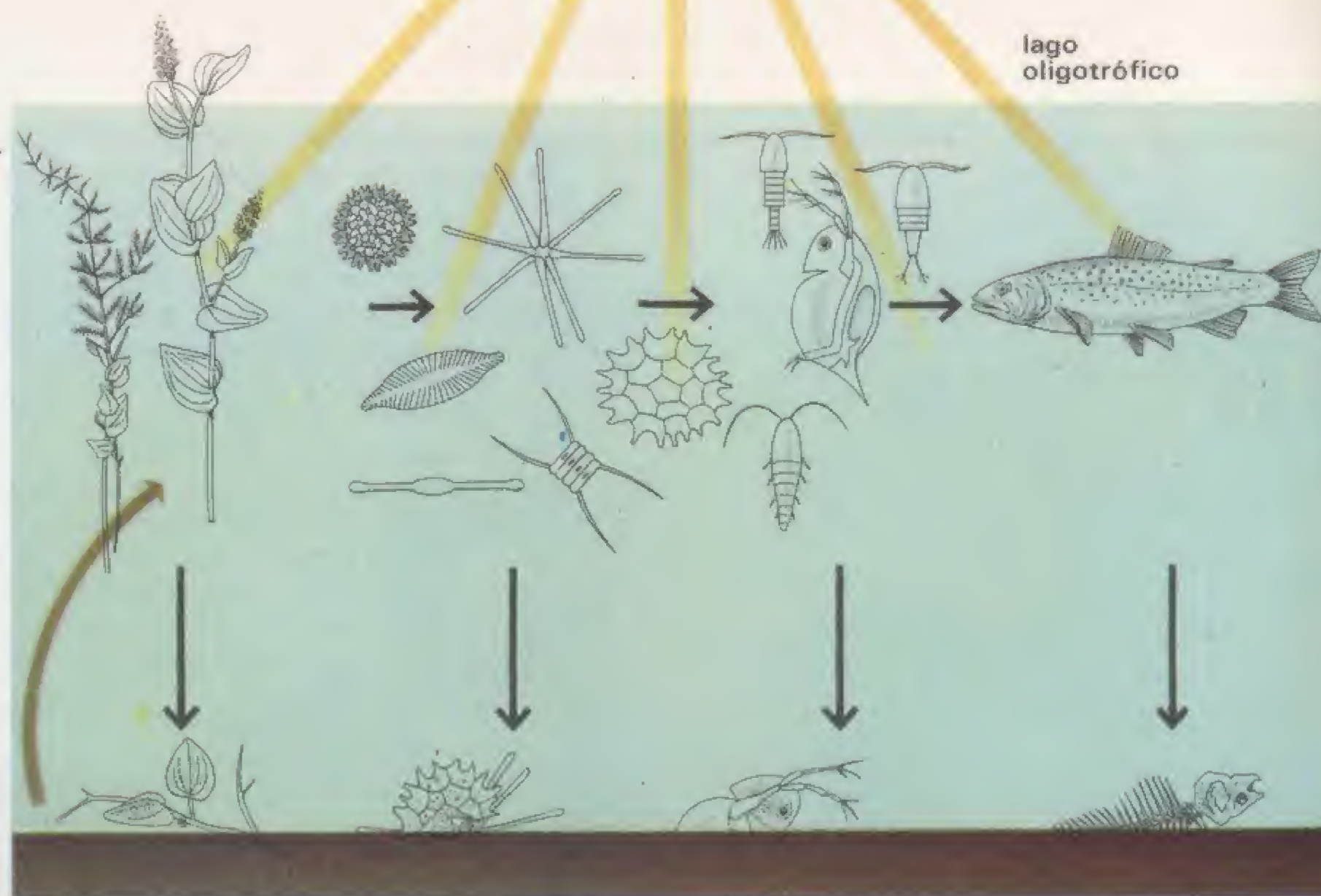


Espectaculares lagos cristalinos se han formado en las calderas, es decir en los cráteres originados por explosiones volcánicas. La mayor caldera del mundo, que contiene el lago Toba (Sumatra), se formó hace 75.000 años por la acción combinada del vulcanismo y la tectónica. Los lagos de Vico y de Bracciano (Italia) se han formado por el hundimiento circular del edificio volcánico (caldera), mientras que los lagos de Albano y Nemi (el Lacio, Italia) y las lagunas de La Mancha (Ciudad Real, España) ocupan los cráteres de antiguos volcanes, hoy extinguidos.

La gran mayoría de los lagos se originó durante el Pleistoceno por la acción de los glaciares: mediante un proceso de abrasión de depresiones y formación de enormes barreras debidas a las grandes masas morrénicas. Los Grandes Lagos de América del Norte se han formado por la acción abrasiva del hielo y la retirada subsiguiente de los casquetes glaciares. Los lagos de *excavación glaciar* pueden ocupar los circos glaciares dejados por los hielos del Cuaternario: entre ellos se encuentran, por ejemplo, la mayoría de los ibones de los Pirineos y de los Alpes, y la laguna de Peñalara (Sierra de Guadarrama, España); también pueden ser valles glaciares que divergen radialmente de la cordillera, y que han quedado ocupados por lagos debido a una morrena terminal que actúa de presa; son ejemplos: Sana-bria (en la cordillera Cantábrica) y Maggioré, Como, Garda y Lugano (en los Alpes); depresiones en las morrenas de fondo, como los lagos de Finlandia o en la periferia de un *inlandsis*, como algunos lagos norteamericanos, y los de Ladoga, Onega y Peipus en la Unión Soviética.

Existen también lagos de *barrera*, originados por desprendimientos de laderas (por ejemplo, el lago de Alleghe, que se ha formado por la obstrucción del fondo del valle del torrente Cordevole, en la región de Bellunese, por deslizamiento de la ladera del monte Piz), por *coladas de lava* (lago Gurrída, en el Etna, Italia); por *morrénas* (lago de San Daniel en el anfiteatro morrénico del Tagliamento, lagos de Viverone y de Candia en el anfiteatro morrénico de Ivrea, en Italia, la Laguna Negra, en la Sierra de Urbión, en España, etc.). Finalmente, por la *acumulación de arena* a lo largo de la costa en forma de barras que cierran depresiones costeras o cauces de ríos, formando albuferas, como la de Valencia (España), las lagunas del Golfo de México, o el lago de Lesina, en Italia.

De notoria importancia son los lagos *cársticos*, que se encuentran en las regiones calcáreas y ocupan cavidades de anchura y profundidad variables, originadas por la acción erosiva y disolvente del agua o bien por el colapso de una cavidad subterránea (*poljes, dolinas*). Tales lagos son a menudo de alimentación subterránea; entre ellos se pueden citar a modo de ejemplo los lagos del Matese y el de Doberdo, en Italia; las Torcas del Agua de la Serranía de Cuenca, en España; el lago de Ocrída, en Yugoslavia, y los cenotes



Arriba, lago oligotrófico. Sus aguas son poco productivas desde el punto de vista biológico. El agua es muy transparente, pero

hay poco fósforo en circulación; el desarrollo de las algas, especialmente de algas unicelulares, es lento y su cantidad

moderada por la escasez de nutrientes. Son escasas las algas que representan el eslabón inferior de la cadena trófica, así

como las de los eslabones superiores. Las flechas de la parte superior representan la luz solar, que es la primera fuente

del Yucatán, en México. También en las formaciones calcáreas se encuentran numerosos lagos subterráneos, ligados al desarrollo del *carst*, como por ejemplo el de Acheronte, en las Grutas de Postumia (Italia) y el de las cuevas del Drach, en Mallorca (España). Para terminar, y con carácter excepcional existen algunos lagos *meteoríticos*, que ocupan depresiones originadas por la caída de meteoritos, como por ejemplo el lago de Ungava, en el norte de la provincia de Quebec (Canadá).

Vida y muerte de los lagos La muerte de los lagos comienza desde el mismo momento de su formación. El punto donde el lago descarga las aguas experimenta una erosión remontante continua, que termina destruyendo el lago al cabo del tiempo. En otros casos, los lagos se colmatan con sedimentos (fango y rocas) y detritus arrastrados por los cursos de agua que los alimentan. Algunos lagos, particularmente si son poco profundos, llegan a ser obstruidos por el crecimiento de las plantas; con el tiempo, un lago puede transformarse en una zona pantanosa o de aguas encharcadas. Finalmente puede suceder que el lago termine secándose, al ser inferior la cantidad de agua que recibe a la que pierde por evaporación.

Los lagos reflejan el clima y la topografía locales. En zonas áridas, los lagos son poco profundos y se secan con cierta periodicidad. El lago Chad, en África central, cubre una superficie cercana a 26.000 km² en la época de lluvias y de unos 10.000 km² en la estación seca. El Mar Muerto, en la frontera entre Israel y Jordania, situado a 401 metros bajo el nivel del mar (el lago a menor cota del mundo) es un lago salado. Los lagos a cotas bajo el nivel del mar tienden a ser salados porque a pesar del aporte de agua dulce, las pérdidas más importantes, incluso casi únicas, tienen lu-

gar por evaporación, con la consiguiente concentración de sales. Así, los vastos depósitos de sales de sodio y de carbonato potásico que existen en el desierto del Valle de la Muerte en California (EE UU), también bajo el nivel del mar, son el testimonio de la presencia de lagos actualmente desaparecidos.

La llegada al lago de sustancias orgánicas de desecho, producidas por el hombre o por causas naturales, acelera el proceso llamado de *eutrofización*, consistente en el excesivo crecimiento biológico del lago. Una superabundancia de vida vegetal produce una fotosíntesis excesiva en superficie puesto que más abajo se extingue la luz, de manera que la mayor parte del oxígeno formado en este proceso se escapa hacia la atmósfera. La enorme masa de materia orgánica que se forma necesita la misma cantidad de oxígeno que se ha desprendido al formarse para descomponerse. Como una gran parte de éste ha pasado a la atmósfera, acaba por agotarse el oxígeno disuelto en el agua en las capas del fondo.

Los lagos pobres en sustancias nutritivas y ricos en oxígeno se llaman *oligotróficos*. Se trata de lagos profundos, por lo que la zona en que se puede descomponer la materia orgánica es enorme, y como hay poco crecimiento del plancton en sus orillas, la poca materia orgánica que hay está casi totalmente mineralizada cuando llega al fondo y sustrae poco oxígeno de las aguas profundas. Un aumento de la materia orgánica conduce en una primera fase a un estado de transición *mesotrófico*, que termina desembocando en la situación *eutrófica* final. El hombre puede acelerar este proceso por el vertido de desechos industriales y aguas residuales, y por la contaminación térmica, debida al aumento de la temperatura, con el consiguiente aumento de la actividad orgánica.

lago
eutrófico

energética de los procesos biológicos. Las flechas de la parte de abajo indican el movimiento de sustancias químicas

que se sedimentan en el fondo con la muerte de los organismos y que después se vuelven a poner en circulación.

Arriba, a la derecha, lago eutrófico en el que la fuerte proliferación de formas vivientes acelera los procesos biológicos,

pero que a la larga empobrece el agua del fondo en oxígeno y restringe cualquier forma de desarrollo posterior.

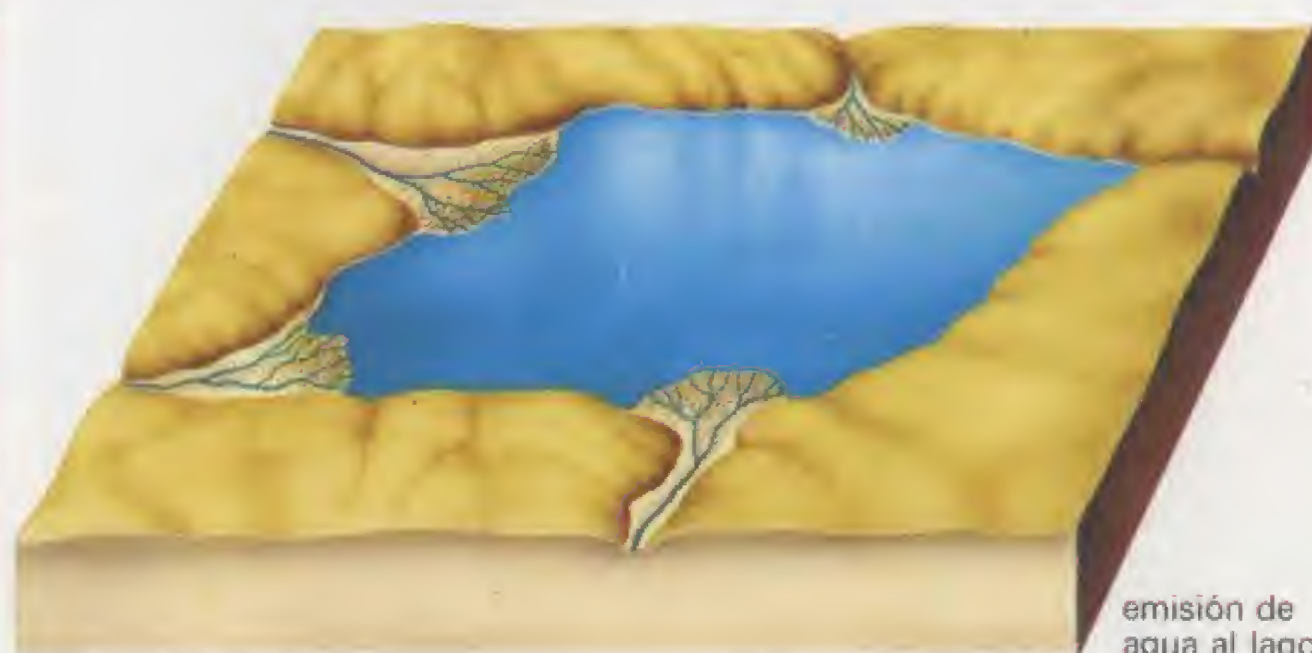
en el ambiente. Cuando el alimento escasea en el lago y el oxígeno es más abundante, muchas especies desarrollan mecanismos adaptativos: así algunas plantas acuáticas se adaptan produciendo semillas grandes, duras, con cubiertas muy resistentes, capaces de sobrevivir al frío y a la sequía. La pulga de agua, por ejemplo, produce, en períodos de tiempo desfavorables, huevos especiales muy resistentes, que no se abren hasta que no se restablecen las condiciones más favorables. La actividad biológica de los lagos es mínima en las regiones árticas a causa del frío y de la escasez de luz solar y, por el contrario, es mayor en los trópicos, donde la intensa luminosidad acelera la fotosíntesis y los ciclos vitales, tanto de plantas como de animales. La vida en el lago está también influida por la naturaleza del lecho rocoso. Las rocas que son solubles y ricas en calcio, potasio, fósforo, que son elementos nutrientes de las plantas, estimulan el proceso de fotosíntesis.

Véase **Albufera; Erosión; Geomorfología; Glaciar; Grutas y cavernas; Río**

Supervivencia de los lagos La *Limnología* —estudio hidrobiológico de los lagos— ha demostrado la existencia de un sistema de relaciones interno muy complejo bajo la superficie del agua. Los lagos están influidos por muchos factores, tales como el viento y la luz del Sol, las variaciones de temperatura, la composición química del agua que le aportan los afluentes, la formación de sedimentos y de corrientes, y los cambios de nivel del agua. Todos estos factores varían de unos lagos a otros. La vida del lago está, en lo fundamental, estrechamente ligada a las condiciones en superficie, especialmente a la luz y a la temperatura, que provocan una estratificación del agua en dos capas bien diferenciadas: en superficie, donde la temperatura es más alta y la luz abundante, está la zona *trofogénica*, o productora de alimento. Por el contrario, la zona *trofólitica*, o consumidora, se encuentra en profundidad, donde el agua está más fría y la luz penetra con dificultad. En esta zona, y precisamente debido a la oscuridad, se ralentiza e incluso se detiene totalmente el proceso de fotosíntesis. La profundidad donde la producción se iguala con la respiración se denomina *profundidad de compensación*. Este límite entre las dos zonas no es fijo, sino que se desplaza hacia arriba o hacia abajo según la estación del año. En otoño y primavera, así como durante la estación lluviosa en las zonas de clima tropical, se da una mezcla vertical de las aguas y el perfil vertical se uniformiza. Otros términos que se emplean para designar estas zonas son los de *epilimnion* e *hipolimnion*, siendo la *termoclina* la superficie límite entre ambas, donde se da un fuerte gradiente de temperatura, incluso más de 1 °C por metro.

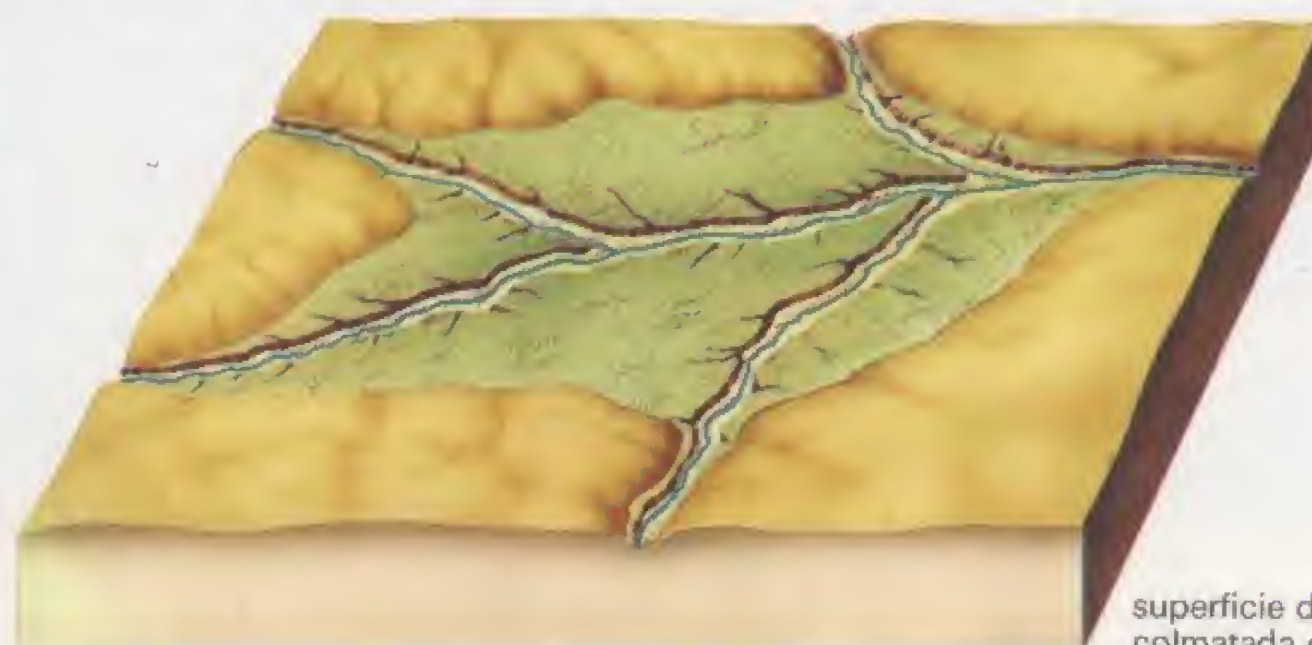
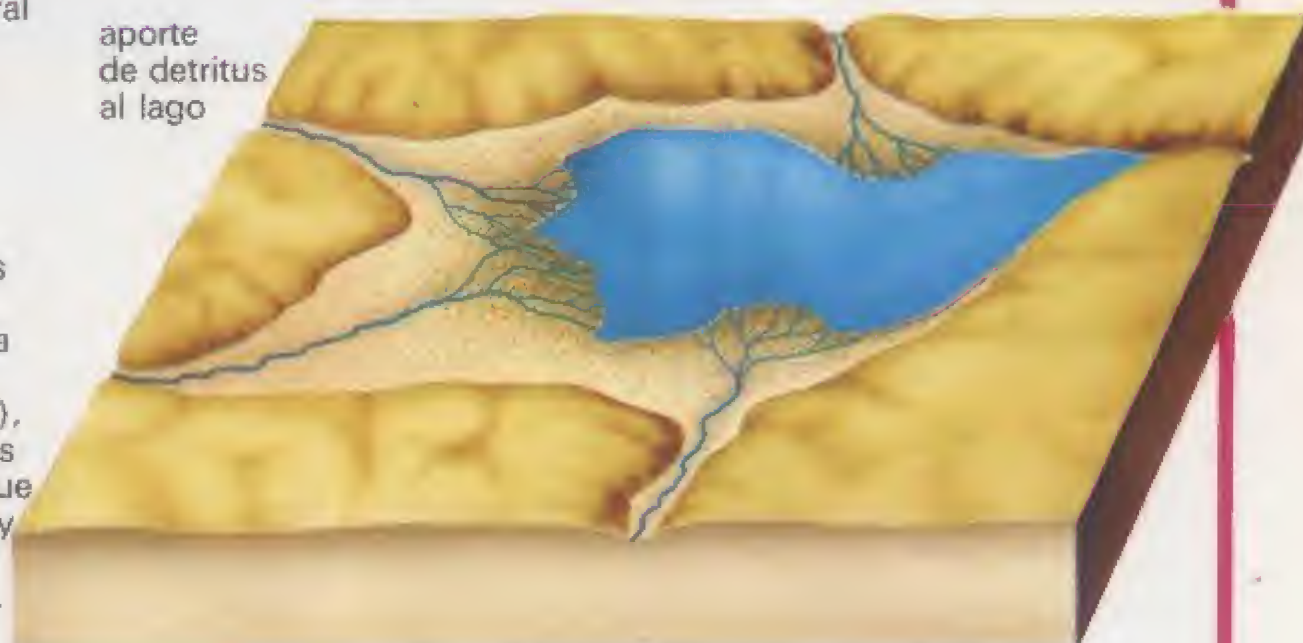
Tanto la vida animal como la vegetal en los lagos están influidas por muchas de las variaciones periódicas que se producen

VIDA Y MUERTE DE UN LAGO



La confluencia de cursos de agua en una cuenca natural da lugar a un lago. Sin ríos no existirían lagos, aunque, sorprendentemente, son precisamente los ríos los que a largo plazo provocan su muerte. De hecho, como puede verse arriba, los cursos de agua transportan detritus que se van acumulando cerca de las desembocaduras. A continuación (en el centro), la acumulación de los mismos llega a hacerse tan grande, que el lago se reduce en tamaño y ocupa solamente el centro de la cubeta. Al final (abajo), el lago ha sido colmatado y es sustituido por una llanura surcada por cursos de agua.

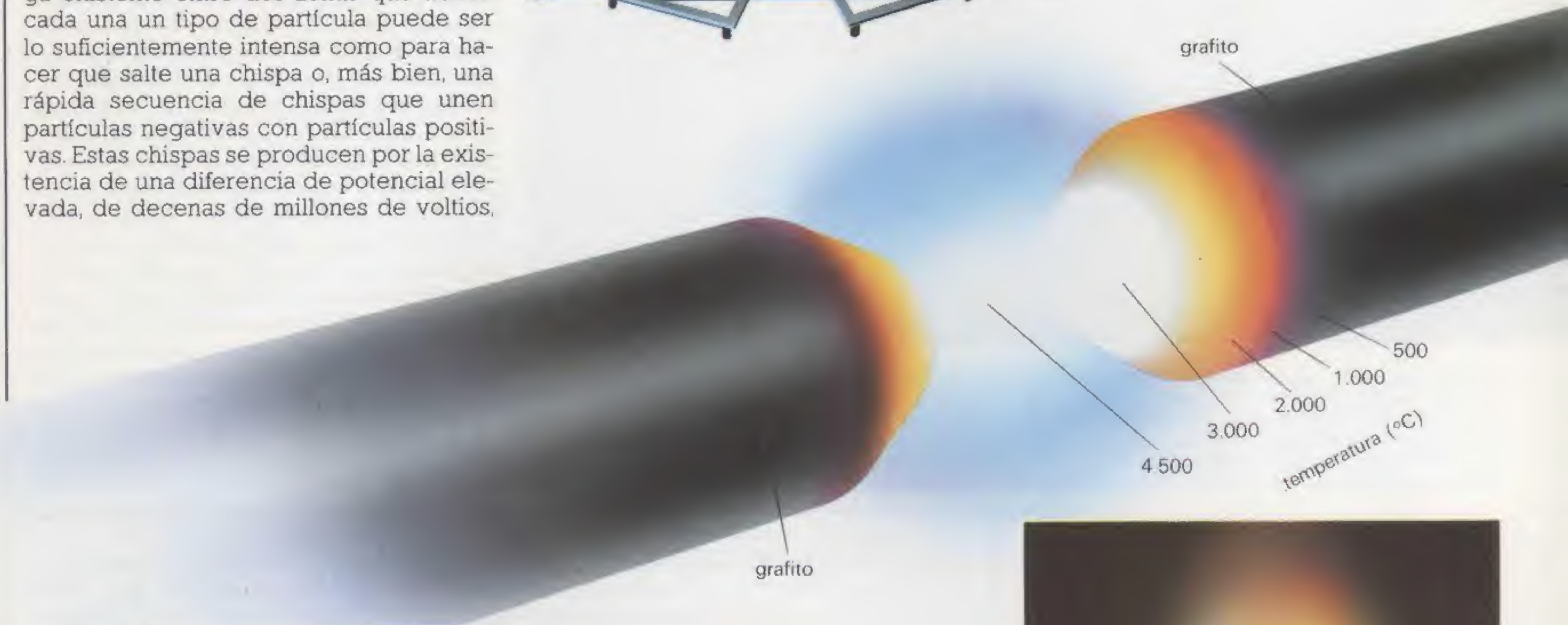
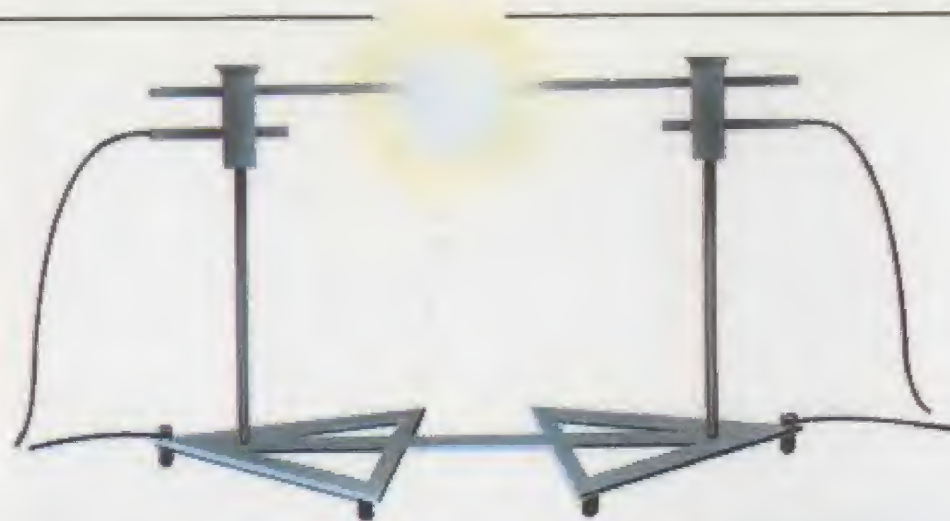
aporte de detritus al lago



superficie del lago colmatada de detritus

Lámpara de arco

Cuando durante una tormenta se ilumina todo el paisaje por efecto de una chispa que atraviesa el cielo, se produce el mismo fenómeno que en la lámpara de arco. El rayo es una descarga eléctrica espontánea que se produce en el aire entre partículas con carga positiva y partículas con carga negativa. La diferencia de carga existente entre dos zonas que tienen cada una un tipo de partícula puede ser lo suficientemente intensa como para hacer que salte una chispa o, más bien, una rápida secuencia de chispas que unen partículas negativas con partículas positivas. Estas chispas se producen por la existencia de una diferencia de potencial elevada, de decenas de millones de voltios,



La lámpara de arco fue uno de los primeros inventos con los que se consiguió obtener luz a partir de la energía eléctrica. Sin embargo, ha sido la tecnología moderna la que ha permitido obtener de este tipo de lámpara todas las ventajas energéticas que puede dar. Su funcionamiento se basa en el principio de emisión de luz por el fuerte calentamiento,

debido al paso de corriente, de un plasma (gas ionizado) que está entre los electrodos; o por los mismos electrodos, muy calientes en la zona adyacente al plasma. Las formas de las lámparas modernas derivan todas del antiguo arco con electrodos de grafito, del que vemos un ejemplo en la parte superior de la página. Esta versión se

utilizaba como lámpara para proyectores cinematográficos. Se encendía conectando la fuente de tensión a los electrodos y juntando sus puntas. Cuando se separaban, a partir del último punto que estaba conectado se producía una chispa cuyo valor vaporizaba un poco de grafito y cebaba el paso de corriente a través del aire y de las partículas de grafito,

que al entrar en la llama del arco se combinaban con el nitrógeno del aire. Tenía el defecto de que los electrodos se consumían y había que acercarlos continuamente. El grafito de los electrodos alcanza los 3.000 °C, y la llama del arco, más de 4.500 °C. En los otros dibujos, electrodos con la llama, y foto de la llama de un potente arco.



que disminuye al saltar la chispa. En cambio, en una lámpara de arco la descarga puede durar un tiempo indefinido, debido a la existencia de dos fuentes permanentes de potencial eléctrico: el polo positivo y el polo negativo.

La lámpara de arco con electrodos de carbón Una de las primeras personas que intuyó la posibilidad de obtener luz a partir de chispas eléctricas fue el científico inglés sir Humphrey Davy. En 1810 descubrió que la chispa que saltaba entre dos electrodos de carbón brillaba mucho más que la obtenida con dos electrodos metálicos. Experimentos sucesivos demostraron que, al calibrar cuidadosamente la distancia entre los dos electrodos (positivo y negativo), la descarga se podía ir haciendo más intensa, hasta producir un arco de luz deslumbrante.

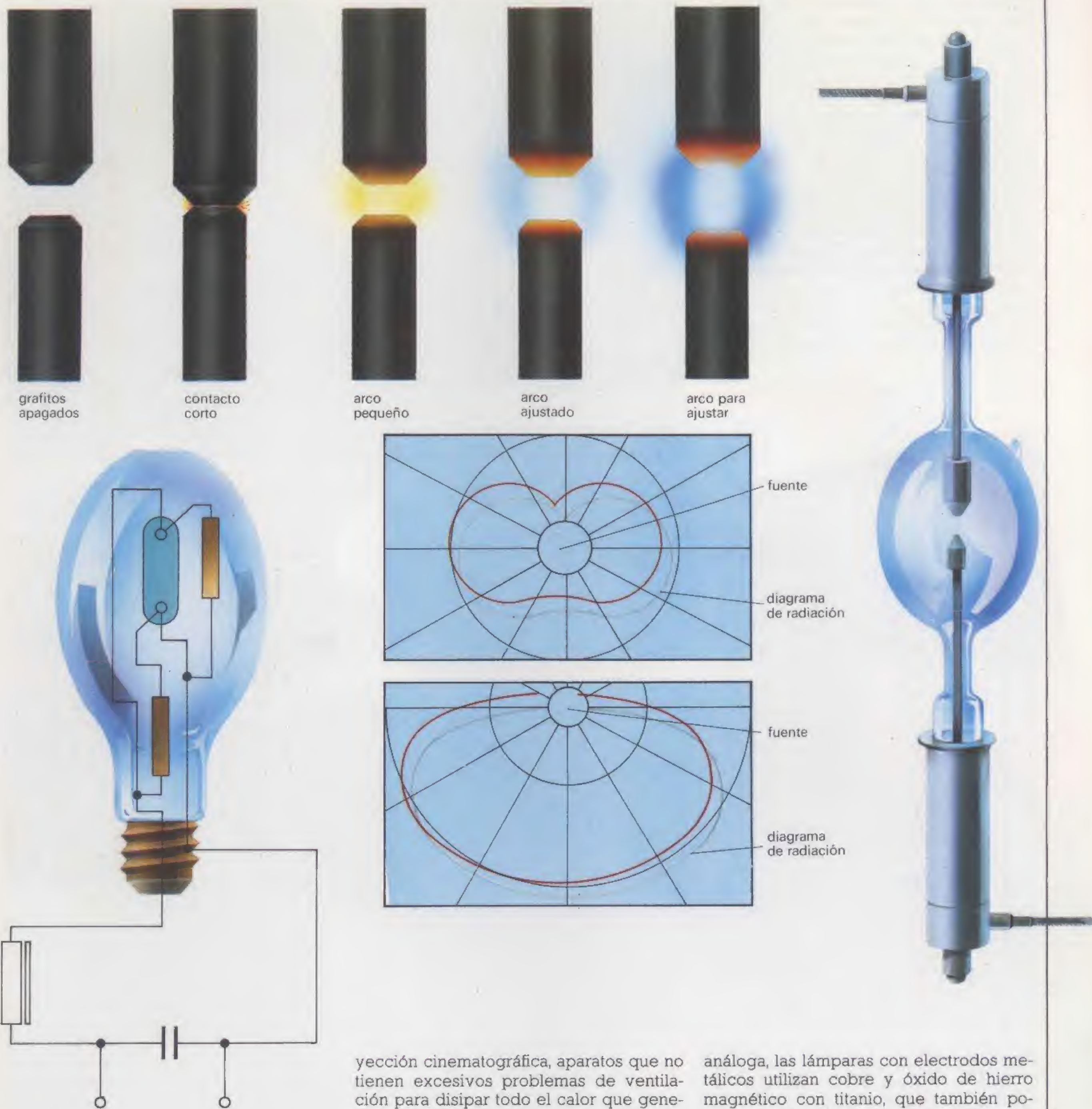
La lámpara de arco con electrodos de carbón, nacida a partir de esos primeros experimentos, es la precursora de la ma-

yor parte de lámparas de arco modernas. En una lámpara de este tipo, cuando dos electrodos de carbón con carga de signo opuesto se tocan, pasa de uno a otro una corriente eléctrica de gran intensidad. Cuando se separan ligeramente los dos electrodos —bien manualmente, como se hacía en otros tiempos; bien automáticamente, como se hace ahora— los electrones saltan del polo negativo al positivo formando una chispa parecida a la del rayo. De esta forma, los electrones golpean con gran violencia la superficie sólida del electrodo positivo, llamado *ánodo*. La punta del ánodo se calienta enormemente, por encima de los 3.500 °C, y emite luz por incandescencia, que equivale a decir que emite luz exclusivamente por calentamiento. Este efecto es el que produce el 85% de la luz en todas las lámparas de arco.

Al producirse este fenómeno, los electrones también se propagan por el aire a partir del electrodo negativo, debido al

proceso llamado *de emisión termiónica*. Cuando esta nube de electrones alcanza el espacio existente entre los dos electrodos, se produce un choque violento con los electrones de la chispa, lo que a su vez produce una ionización del aire y una dispersión de un número todavía mayor de electrones, intensificándose la luminosidad del arco hasta producir una especie de plasma luminoso. Este aumento de la corriente podría averiar en poco tiempo la lámpara, por lo que se introduce un regulador de corriente en el circuito de potencia para limitar su intensidad. La lámpara de arco tiene mayor rendimiento que las lámparas comunes de incandescencia para aplicaciones en las que se necesita una fuerte intensidad, por lo que se emplea para ahorrar energía.

Actuales aplicaciones de la lámpara de arco Como la lámpara de arco produce una luz tan intensa, se utiliza para la construcción de focos y de lámparas de pro-



En la parte de arriba, la sucesión de posiciones de los electrodos para proceder al encendido del arco. Debajo, a la izquierda, un arco moderno de vapor de mercurio en una ampolla de cuarzo. A la derecha, el potente y compacto arco de xenón a presión en ampolla de cuarzo; se cebe con una chispa

de alta tensión y después se alimenta con tensión de red; tiene un rendimiento luminoso muy alto y una luz de color blanco perfecto. En el centro, diagramas de radiación de lámparas de arco: arriba, libres, y debajo, en cambio, con un reflector que dirige hacia abajo toda la luz, que de otra forma se dispersaría.

yección cinematográfica, aparatos que no tienen excesivos problemas de ventilación para disipar todo el calor que generan los electrones. El arco que salta entre dos electrodos se utiliza también como fuente de energía para lámparas cuya luz procede de vapores ionizados que rodean a los electrodos. En estas lámparas de vapor los elementos más utilizados son el mercurio y el sodio.

En una lámpara de arco de llama se introducen en el arco, junto a los electrones, sustancias químicas, como el calcio o el bario, que están en los electrodos de carbón. Estas sustancias tienen propiedades luminiscentes y brillan intensamente dentro del flujo turbulento del arco. De forma

análoga, las lámparas con electrodos metálicos utilizan cobre y óxido de hierro magnético con titanio, que también poseen propiedades luminiscentes. Cuando estas sustancias químicas se vaporizan, producen un plasma alrededor del arco y emiten una luz intensa. En ambos casos el origen de la luz está más en las propiedades luminosas del arco de plasma que en la incandescencia de la punta del ánodo, lo que hace que estas lámparas sean especialmente aptas para funcionar a temperaturas más bajas.

Véase **Bombilla; Electricidad; Energía eléctrica, producción; Luminiscencia; Luz; Plasma**

Lana

Durante una jornada fría es posible apreciar la calidad de la lana que nos abriga, aislándonos del frío. La lana es una fibra natural que se obtiene del pelo de las ovejas, de las cabras, de los camellos y de las llamas.

El empleo de la lana para la confección de tejidos se conocía ya en el Medio Oriente en el año 4.000 a. de C.; la palabra *Babilonia* significa literalmente "tierra de la lana". En Roma, posteriormente, alrededor del año 50 d. de C, las ovejas eran criadas en rebaños y esquiladas masivamente. A partir de entonces la lana se convirtió en una de las materias primas para te-



El esquilado de la oveja (arriba) se realiza al finalizar la estación fría, de modo que a los animales les crezca el pelo durante el periodo siguiente de buen tiempo. Después del esquilado, la lana es seleccionada según la calidad, lavada con

máquinas especiales para eliminar la grasa y las impurezas vegetales y teñida (a la izquierda y en la página siguiente). A continuación es sometida a los distintos métodos de hilado, el más primitivo de los cuales es el huso (abajo).



jidos más difundidas en el mundo, conocida por sus propiedades aislantes y por sus numerosos posibles empleos en muchos campos.

Las prendas de lana no sólo abrigan durante el invierno, sino que también ayudan a proteger del calor estival. La lana es particularmente cómoda de vestir, ya que es capaz de absorber la humedad. Aunque es utilizada sobre todo para prendas de vestir, su durabilidad y solidez la hacen excelente también para confeccionar mantas y alfombras.

El procedimiento mediante el cual el pelo de las ovejas es transformado en una manta de invierno o en un abrigo continúa siendo tan complicado como hace siglos. No obstante, la automatización de los equipos para el esquilado y de los sistemas industriales en la confección de tejidos facilita notablemente el trabajo; la cría de ovejas se ha convertido también en una industria especializada, y la mayor parte del esquilado se realiza manualmen-

da de queratina, una proteína que contiene 18 aminoácidos. Las fibras son onduladas y encrespadas como un resorte espiral —incluso después de ser estiradas 200.000 veces, vuelven a ondularse como antes—; por esta razón la lana es un tejido flexible: sus fibras, una vez tejidas, mantienen su capacidad de estiramiento y encogimiento.

Cada fibra de lana tiene una doble estructura estratificada. La parte externa, llamada *epidermis*, es una vaina fina y porosa que recubre y protege las células internas; este estrato rechaza el líquido, pero absorbe la humedad del aire. Cuando la lana es transformada en tejido, es capaz de absorber una cantidad de humedad equivalente al 30% de su peso. Esta cualidad de la lana hace que sea cómoda para vestir, permitiéndole conservar su forma. La parte más interna de la fibra está conformada por una estructura llamada *corteza*, constituida por millones de células corticales. Con la ayuda de un microscopio

recientemente, también los fármacos esteroides.

Procesos industriales Después del esquilado, la lana es seleccionada según la calidad. Las fibras mejores se encuentran sobre el dorso y en las partes cercanas a la cabeza de la oveja. La lana es luego lavada, frotándola con una solución a base de jabón y un álcali para eliminar toda la suciedad y las impurezas vegetales. El método de lavado en frío, además de eliminar la suciedad, congela la grasa de la lana. A continuación se puede proceder a la tintura. La lana tiene un gran poder absorbente, por lo que se tiñe con gran facilidad y los colores permanecen vivos. La tintura comprende tres fases: difusión del colorante del baño a la superficie de la fibra, absorción del colorante en la superficie y difusión del colorante desde la superficie al interior de la fibra. Una vez teñida, la lana es seleccionada, cardada (desenredada y dispuestas las fibras pa-



te empleando tijeras eléctricas especiales. Se trata de una cría especial y selectiva, con la existencia de razas de gran calidad, como las ovejas merinas y *rambouillet* o los carneros australianos, cuyas cualidades y características responden a los requerimientos y exigencias de los diversos productores. Estos animales son criados para obtener las calidades de lana más apreciadas y para seleccionar calidades particulares.

Cómo se obtiene la lana La lana crece sobre la piel de las ovejas a través de los folículos o poros de la superficie, de manera bastante similar a como crece el cabello en los seres humanos. Está forma-

es posible apreciar una compleja trama de hilos, simétrica y repetida. Los grupos de fibras de lana se mantienen unidos entre sí mediante anexiones químicas que se forman después de la construcción de las moléculas proteicas. Las formaciones moleculares son llamadas *cadena polipeptídica*. La médula que forma parte de la corteza es la parte central de la fibra, a través de la cual ésta se nutre y recibe las sustancias lubricantes —secretadas por las glándulas sebáceas y sudoríparas— que se distribuyen luego por toda la fibra. La lanolina es un producto que se obtiene de la grasa presente en las fibras de la lana, y se utiliza para preparar cremas hidratantes destinadas a la piel, jabones y,

ralelamente una a otra) y peinada con una máquina que alinea las fibras, las estira y las prepara para el hilado. Después de tejidas, las piezas de lana suelen tener un volumen que en más de un 80% está constituido por aire, lo que les confiere capacidad de aislamiento, elasticidad, ligereza y calor natural. El aumento de costos en la cría de las ovejas repercute también en el precio de las prendas de lana. En la actualidad, la importancia relativa de la lana dentro de la industria textil ha disminuido, debido a la competencia de las fibras artificiales.

Véase **Fibras y tejidos sintéticos; Hilados; Tejidos, fabricación de; Telar**

Lantánidos

NOMBRE	LANTANO
SÍMBOLO	La
ETIMOLOGÍA DEL NOMBRE Y DEL SÍMBOLO	del griego <i>λανθάνω</i> , "escondido"
N.º ATÓMICO	57
PESO ATÓMICO	138,91
ESTADO NATURAL	en los minerales monacita, cerita, lantanita
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	C. G. Mosander (1839)
PRODUCCIÓN	electrólisis del cloruro
P. de f. (°C)	920
P. de eb. (°C)	3.469
PESO ESPECÍFICO O DENSIDAD	6,19
PROPIEDADES Y APLICACIONES	elemento de la serie de los lantánidos; sirve para la fabricación de lentes de alto valor

Gracias a la televisión en color, los lantánidos están presentes en la mayor parte de las casas. Anteriormente a estos avances, los compuestos de ésta importante serie de catorce elementos, conocidos también con el nombre de *tierras raras*, eran utilizados principalmente en la fabricación de vidrios especiales, cerámicas y metales. Dado que estos elementos presentan comportamientos casi idénticos en cuanto a sus reacciones químicas, eran casi siempre utilizados como mezclas de tierras raras en lugar de como elementos puros, cuya separación y refinado suponen procesos complejos y costosos.

Los *lantánidos*, que toman su nombre del lantano —el elemento que precede a esta serie y que alguna vez viene incluido en ella—, son un grupo de elementos que presentan características peculiares por muchos aspectos. Una es la semejanza de su comportamiento químico, que, cuando fueron descubiertos, causó no poca perplejidad entre los minerólogos. Otra es su particular estructura atómica, que desorientó a los químicos en sus intentos de clasificarlos.

Descubrimiento de los lantánidos
Los alquimistas medievales a menudo se referían a los elementos sólidos relativamente inertes con la terminología de *tierras*. Las tierras no eran metales, eran insolubles en agua y no se alteraban por efecto de las altas temperaturas. Los óxidos (compuestos que contienen oxígeno) de calcio y magnesio, por ejemplo, eran denominados *tierras comunes* y los mismos elementos tomaban el nombre de *tierras alcalinas*. En el momento en que fueron descubiertos se pensaba que los lantánidos eran mucho menos comunes de lo que en realidad son, y por ello se les denominó *tierras raras*.

En 1794 el químico finlandés Johann Gadolin descubrió la presencia de una nueva tierra (llamada después *gadolinita*) en una muestra de mineral extraído de una cantera cerca de la ciudad sueca de Ytterby. El la llamó *ytterbio*, de donde deriva su nombre *itrio*. Nueve años más tarde otra tierra fue descubierta en el interior del mismo mineral, que fue denominada *cerio*. Poco tiempo después se descubrió que tanto el itrio como el cerio no eran elementos químicos, sino óxidos de elementos a los cuales, por tanto, se trasladó los nombres de itrio y cerio. Pero la confusión estaba destinada a aumentar. De hecho, entre 1839 y 1843 se descubrió que el itrio y el cerio eran en realidad mezclas de varios elementos diferentes. Finalmente se identificaron diecisiete tierras raras (14 lantánidos más el escandio y el itrio), cada una con propiedades químicas casi idénticas a las de los otros elementos del grupo y al promecio, elemento radiactivo artificial.

La clasificación de los lantánidos Otra dificultad, al respecto de los lantánidos, estaba constituida por el hecho de que éstos no parecían encajar en el esquema de clasificación de los elementos, ni en la tabla periódica de Mendeleiev. Este químico ruso, en 1869, antes que fuera descubierta la existencia de la mayor parte de los lantánidos, advirtió ciertas característi-

cas en relación con el comportamiento químico de los elementos. Logró encuadrarlos en un esquema formado por líneas y columnas, de modo que los elementos que presentaban análogas propiedades químicas estuvieran contenidos en una misma columna del esquema. La razón por la cual es posible esta clasificación es porque todos los átomos están constituidos de un cierto número de partículas, llamadas *electrones*, que orbitan alrededor de un núcleo formado por partículas con carga positiva (*protones*) y por otras partículas sin carga (*neutrones*). Todos los átomos de un mismo elemento tienen el núcleo compuesto por el mismo número de protones (número atómico). Los lantánidos, por ejemplo, tienen número atómico variable comprendido entre 58 (el cerio) y 71 (el lutecio).

Los electrones de un átomo (cuyo número en el átomo neutro es igual al de los protones) están dispuestos alrededor del núcleo en grupos, llamados *niveles* o *envolturas*, cada uno de los cuales puede contener solamente un determinado número máximo de electrones. El comportamiento químico de un átomo está determinado precisamente por el número de electrones presente en su envoltura, por lo que son estos electrones verdaderamente los que se intercambian (adquiridos o cedidos) o se comparten con otros átomos (cuando un átomo se pone en contacto con otros) en el caso de una reacción química. Mendeleiev organizó el cuerpo principal de su tabla periódica en líneas de dieciocho elementos cada una como máximo. El descubrimiento de los lantánidos, como se ha dicho, creó problemas para su inserción en la tabla de Mendeleiev. El lantano (número atómico 57) era en realidad muy similar al itrio (número atómico 39), que ocupaba el puesto inmediatamente superior en la tabla periódica. Análogamente, el elemento sucesivo, el cerio (número atómico 58), debía asimilarse al circonio (número atómico 40). Por el contrario, también el cerio era muy similar al itrio, y así sucesivamente los otros

El mineral monacita es un fosfato de cerio, conteniendo otros elementos de la familia de los lantánidos, sobre todo lantano, neodimio y praseodimio; puesto que en la monacita están también presentes ciertas cantidades de torio, que es un elemento radiactivo, el mineral puede utilizarse para establecer la edad de los granitos donde se encuentra (calculando la cantidad de torio transformada en plomo por desintegración radiactiva). Otro mineral rico en lantánidos es la ortita —de la familia de los silicatos— y que contiene calcio, hierro y aluminio.



monacita

Hasta hace muy poco tiempo, la separación entre los lantánidos era una tarea muy difícil, a causa de la afinidad química que caracteriza a estos 15 elementos como



ortita

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS LANTANIDOS				
Número atómico	Elemento	Símbolo	Configuración electrónica*	Radio del ion trivalente (nm)
57	lantano	La	$5d\ 6s^2$	0,125
58	cerio	Ce	$4f^2\ 6s^2$	0,118
59	praseodimio	Pr	$4f^3\ 6s^2$	0,116
60	neodimio	Nd	$4f^4\ 6s^2$	0,115
61	promecio**	Pm	$4f^5\ 6s^2$	
62	samario	Sm	$4f^5\ 6s^2$	0,113
63	europio	Eu	$4f^7\ 6s^2$	0,113
64	gadolinio	Gd	$4f^7\ 5d\ 6s^2$	0,111
65	terbio	Tb	$4f^9\ 6s^2$	0,109
66	disprosio	Dy	$4f^{10}\ 6s^2$	0,107
67	olmio	Ho	$4f^{11}\ 6s^2$	0,105
68	erbio	Er	$4f^{12}\ 6s^2$	0,104
69	tulio	Tm	$4f^{13}\ 6s^2$	0,104
70	itrio	Yb	$4f^{13}\ 6s^2$	0,100
71	lutecio	Lu	$4f^{14}\ 5d\ 6s^2$	0,099

* El exponente indica el número de los electrones en el subnivel
 ** Elemento artificial, preparado en cantidad microscópica

elementos de la serie de los lantánidos. Solamente el hafnio (número atómico 72) tenía afinidad con el circonio y las analogías de Mendeleiev se reanudaban a partir de este punto.

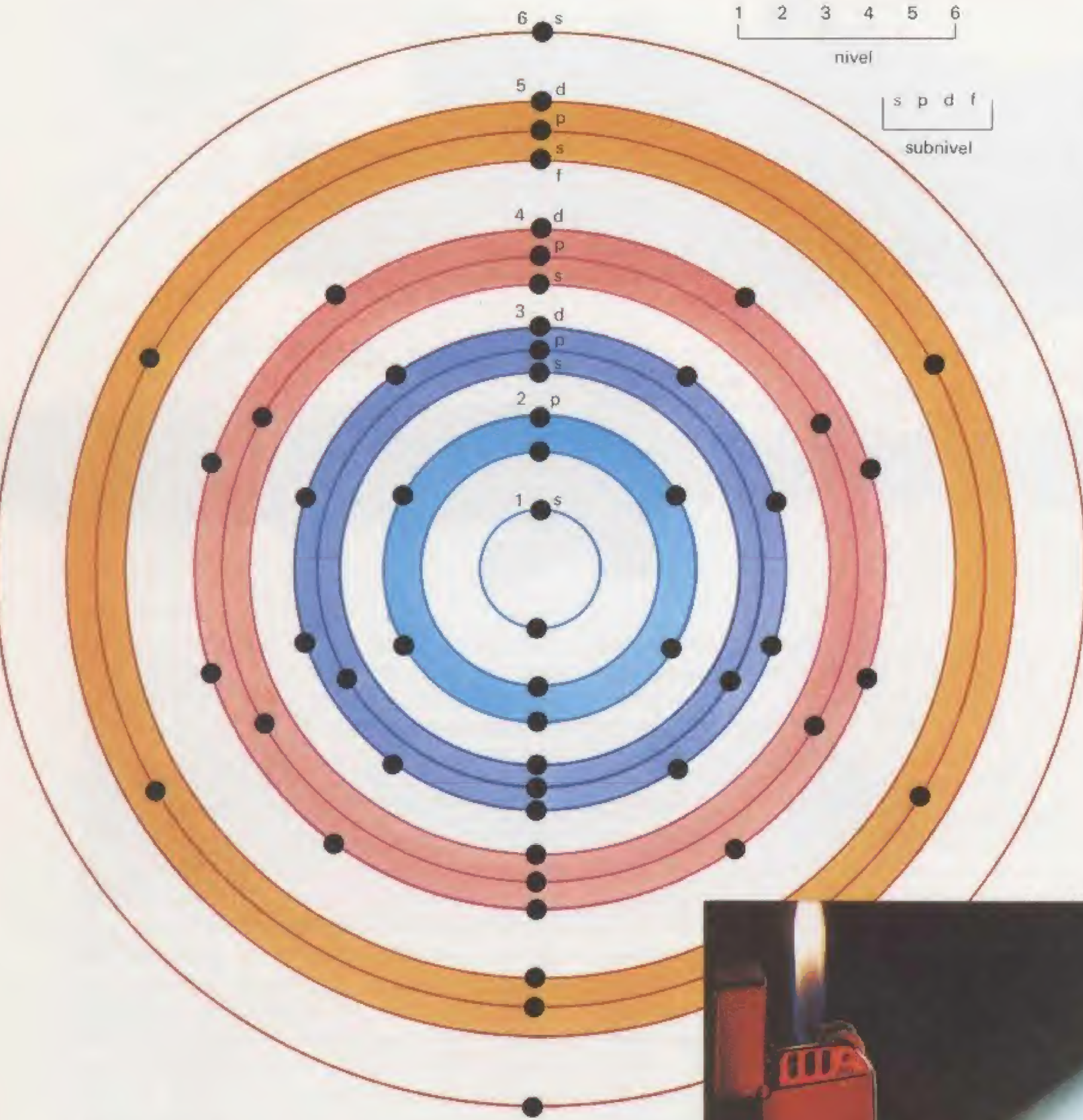
El misterio fue aclarado más tarde cuando se conoció la estructura y distribución de los electrones en torno al núcleo. Los electrones se distribuyen por niveles o capas. Dentro de cada nivel, se alojan en orbitales diversos llamados *s*, *p*, *d* y *f*. En la primera capa sólo hay un orbital *s*; en la segunda, un *s* y tres *p*; en la tercera, un *s*, tres *p* y cinco *d*; por fin, en las restantes a partir de la cuarta: un orbital *s*, tres *p*, cinco *d* y siete *f*. Cada orbital, del tipo que sea, "aloja" a lo sumo dos electrones. Por esta razón, dentro de cada nivel puede haber: 2 electrones en los orbitales *s*, 6 en los *p*, 19 en los *d* y 14 en los *f*. Por razones de energía mínima, los electrones van ocupando —dentro de cada nivel— primero los orbitales *s*, después los *p* y por fin los *d* y *f*.

Lo extraordinario de la clasificación de Mendeleiev fue que, en líneas generales, coincide con la moderna clasificación, basada en la estructura electrónica de los átomos.

De acuerdo con lo expuesto, los 14 elementos que van del cerio al lutecio —con números atómicos 58 y 71— deberían estar situados en la casilla del lantano, pues tienen propiedades químicas muy parecidas. Ello es debido a que en estos elementos los electrones que los diferencian uno de otro van alojándose en los orbitales más internos, 4 *f* (con cabida precisamente de 14 electrones), llevando todos ellos los electrones más externos del lantano (2 electrones en el orbital 6 *s* y a veces un electrón en el 5 *d*).

Por razones prácticas, esta serie de elementos —al igual que la de los actínidos— suele colocarse al final en las tablas de clasificación.

Véase Sistema periódico de los elementos



→ consecuencia de su estructura electrónica. De hecho, los electrones que, a partir del lantano, entran en los elementos sucesivos se sitúan en los orbitales internos 4*f* —que están vacíos desde el nivel 4— antes de ocupar los orbitales de las capas externas. La estructura electrónica externa, de la que derivan las

propiedades químicas, resulta por tanto casi idéntica y esto explica la grandísima semejanza entre ambos elementos. En la tabla de arriba se aprecia también que los radios iónicos disminuyen a lo largo de la serie: de hecho, el aumento de la carga nuclear hace que los electrones sean más fuertemente atraídos por el núcleo.



El cerio es, entre los lantánidos, el metal que presenta la mayor difusión natural. Con el hierro forma una aleación llamada *Auer*, que tiene la característica de ser un material pirofórico, es decir, capaz de producir centelleo por choque. Esta propiedad hace que encuentre aplicación en la fabricación de las piedras para mecheros. El sulfato de cerio se utiliza como oxidante en Química analítica. El cerio se encuentra además entre los productos de fisión del uranio, del torio y del plutonio.

Lanzagranadas



M20 "Superbazuca"
(EE UU)

La versión más reciente de bazuca es el M72 A2 de los Estados Unidos (en la página siguiente). Dispara un cohete muy ligero, representado (debajo) con las aletas abiertas como en el vuelo hacia el blanco. El tubo de lanzamiento se transporta replegado, pero para el tiro se alarga telescópicamente. Es usado para el disparo de una sola granada y está en dotación en muchos países.

Un peso de 14,6 kg obliga a efectuar el disparo en posición de sentado con el sistema M47 "Dragón". Después de apuntar mediante el visor

tubo de transporte y lanzamiento

M47 "Dragón" (EE UU)

unidad de seguimiento

aletas de estabilización

↓
óptico, se dispara el proyectil, de manera que, manteniendo el blanco encuadrado, se puede afinar la puntería con la conducción por cable. La granada aparece con las aletas abiertas. Se dispone también de guía por infrarrojos.

La palabra bazuca, con que también se conoce a los lanzagranadas, tiene su origen en el nombre del instrumento utilizado por el actor norteamericano Bob Burns.

En sus espectáculos de variedades, y en la radio, Burns se servía para el fondo musical de un solo instrumento, de forma alargada y cilíndrica, semejante a un oboe. Cuando los soldados del ejército estadounidense empezaron a emplear, durante la II Guerra Mundial, un arma consistente en un largo tubo lanzacohetes, se les ocurrió bautizarlo con el nombre del instrumento musical de Burns a causa de la semejanza entre ambos.

El bazuca o lanzagranadas ha sido una de las armas con más éxito surgidas del último conflicto mundial, además de una de las más sencillas de utilizar. Consiste en un largo tubo metálico, bastante ligero y manejable, liso por su interior, abierto por sus extremos, que se apunta sobre el blanco y se acciona apoyado en el hombro del soldado. Es, fundamentalmente, un arma anticarro para la infantería, pero también puede ser empleada eficazmente contra cualquier tipo de vehículo, fortines, asentamientos de artillería, siempre que se encuentren dentro de un radio de unos 400 metros.

Las versiones alemana e inglesa, fueron el *Panzerfaust* y el *PIAT*, respectivamente.

La característica del bazuca que le convirtió en el arma ideal para fuerzas en combate consiste en su munición: se trata de proyectiles-cohete (esto es, autopropulsados) dotados de una carga explosiva de notable potencia, estudiada para perforar la coraza de los carros de combate y hacer explosión en su interior.

Empleo del bazuca El bazuca es manejado normalmente por dos o tres soldados: uno procede a su carga (proveedor), el otro (tirador) lo apoya sobre un tercer hombre, apunta y dispara.

La versión original de este arma, empleada en el Norte de África contra los carros de combate alemanes al comienzo de 1943, disparaba un proyectil-cohete de un kilogramo y medio de peso y de 6 cm de diámetro.

En 1950 el tubo lanzador se amplió a 8,9 centímetros de diámetro y los proyectiles-cohete adaptables a este nuevo modelo tenían un peso de 3,9 kilogramos; el tubo lanzador pesaba solamente 5,9 kilogramos. Esta nueva versión del lanzagranadas se empleó con éxito en la guerra de Corea contra los T-34 de las fuerzas ncoreanas.

Como hemos dicho, un soldado introduce el proyectil por la extremidad posterior del tubo, mientras que el compañero apunta con la ayuda de un visor telescópico semejante al anteojo de un fusil de precisión. Cuando el tubo lanzador está cargado, se activa un contacto eléctrico conectado al mecanismo de disparo; en el momento en que el soldado tirador actúa sobre el correspondiente disparador, el impulso eléctrico enciende la carga propulsora situada en la parte posterior del proyectil-cohete. Según el principio de acción-reacción, el encendido de dicha carga y la consiguiente producción de un fuerte empuje hacia atrás provocan su salida por la parte anterior del tubo. La carga propulsora de los proyectiles-cohete es de tipo sólido y está compuesta por un 75% de nitrocelulosa y un 25% de nitroglicerina; este propulsor se quema en forma constante e imprime al proyectil empuje y velocidad también constantes.

Los proyectiles del bazuca adoptan la llamada "carga hueca", que consiste en una carga explosiva perfilada de modo que presenta, hacia la parte anterior, una cavidad. Cuando el proyectil sufre el impacto con la coraza de un carro, la carga explota y concentra su poder destructivo en un solo punto, desarrollando en él



granada HEAT

El arma de la izquierda es el superbazuca, que sustituyó al modelo de la II Guerra Mundial. Es aún un arma de tipo balístico, es decir, su proyectil —una granada cohete— no

puede alterar su trayectoria después del lanzamiento. El alcance práctico de este arma era de 110 metros (el máximo 1.200 metros, 5,5 kg era el peso del tubo, que se podía desmontar en dos partes), y 4,04 kg el peso del cohete con su carga. Para el disparo, el soldado sostiene todo el peso sobre su hombro y pone rodilla en tierra.

una temperatura y una presión elevadísimas que funden y perforan la coraza, expandiéndose en el interior del carro y produciendo efectos devastadores.

Las últimas realizaciones estadounidenses en el campo de las armas anticarro "portátiles" derivadas del bazuca se orientan hacia un lanzacohetes utilizable una sola vez, denominado *LAW* (*Light Antitank Weapon* o arma ligera anticarro), y hacia el lanzagranadas anticarro *Viper*.

Véase **Ametralladora; Fusil**

tubo telescópico de lanzamiento



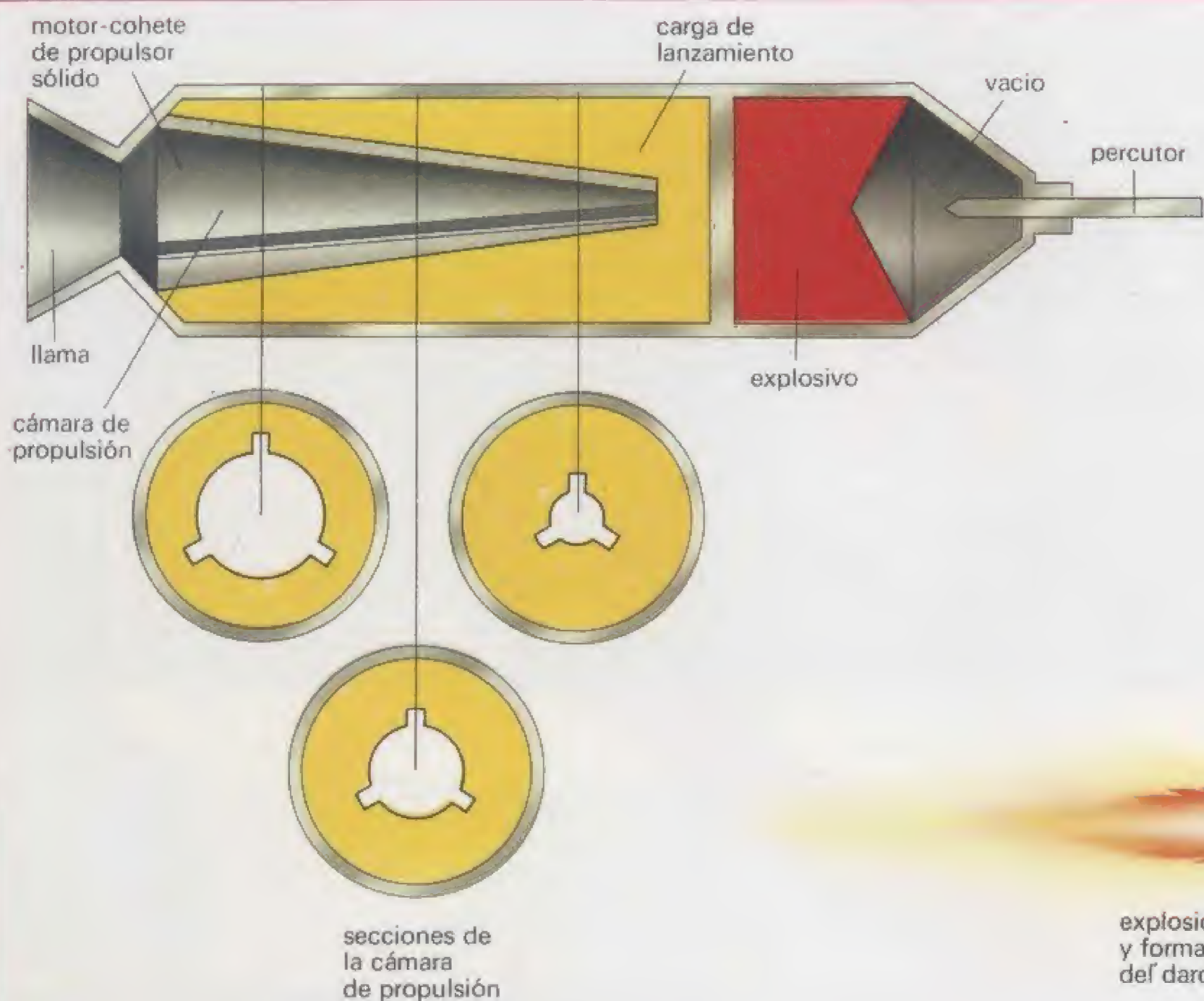
M72 A2 (EE UU)



aletas de estabilización



posición de tiro



A la izquierda, la sección esquemática de una granada de bazuca. Arriba, a la izquierda, sección del motor-cohete con carga propulsora sólida. El cuerpo de la granada está formado por la cámara del propulsor, que está ahuecada —estrechamente hacia la punta— y acanalada para mantener, a pesar del consumo, la misma intensidad de la llama. En rojo, la carga hueca que se

encenderá por la acción del percutor. Abajo, la granada llegando al blanco; y debajo, impulso del cohete, que le ha proporcionado una velocidad de centenares de metros por segundo. En el momento de la explosión de la carga hueca origina un chorro de gases calientes que, a la velocidad de varios kilómetros por segundo, perfora muchos centímetros de metal.



Láser

Las novelas y películas de ciencia-ficción nos han hecho familiares las imágenes de pistolas que disparan rayos de luz brillante y destructiva en lugar de balas. El invento más cercano a una de dichas pistolas son los rayos láser, si bien se trata de algo muy distinto a las armas de las historias de ciencia-ficción.

El láser emite un rayo de luz muy fino e intenso. Dependiendo de la forma de producir el rayo y del tipo de luz que emita, el láser tiene aplicaciones en la industria, el comercio, las artes y, desafortunadamente, en la guerra.

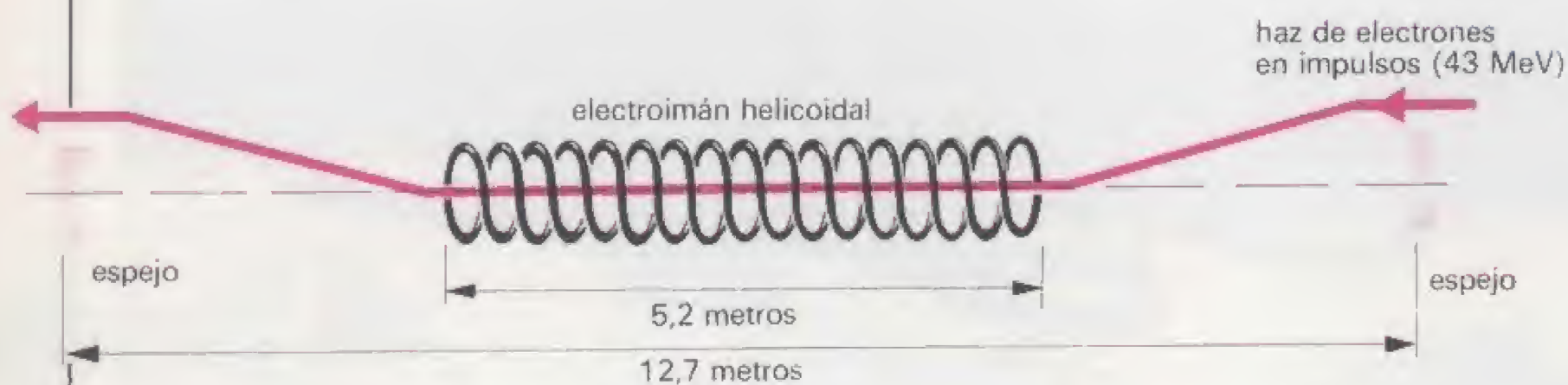
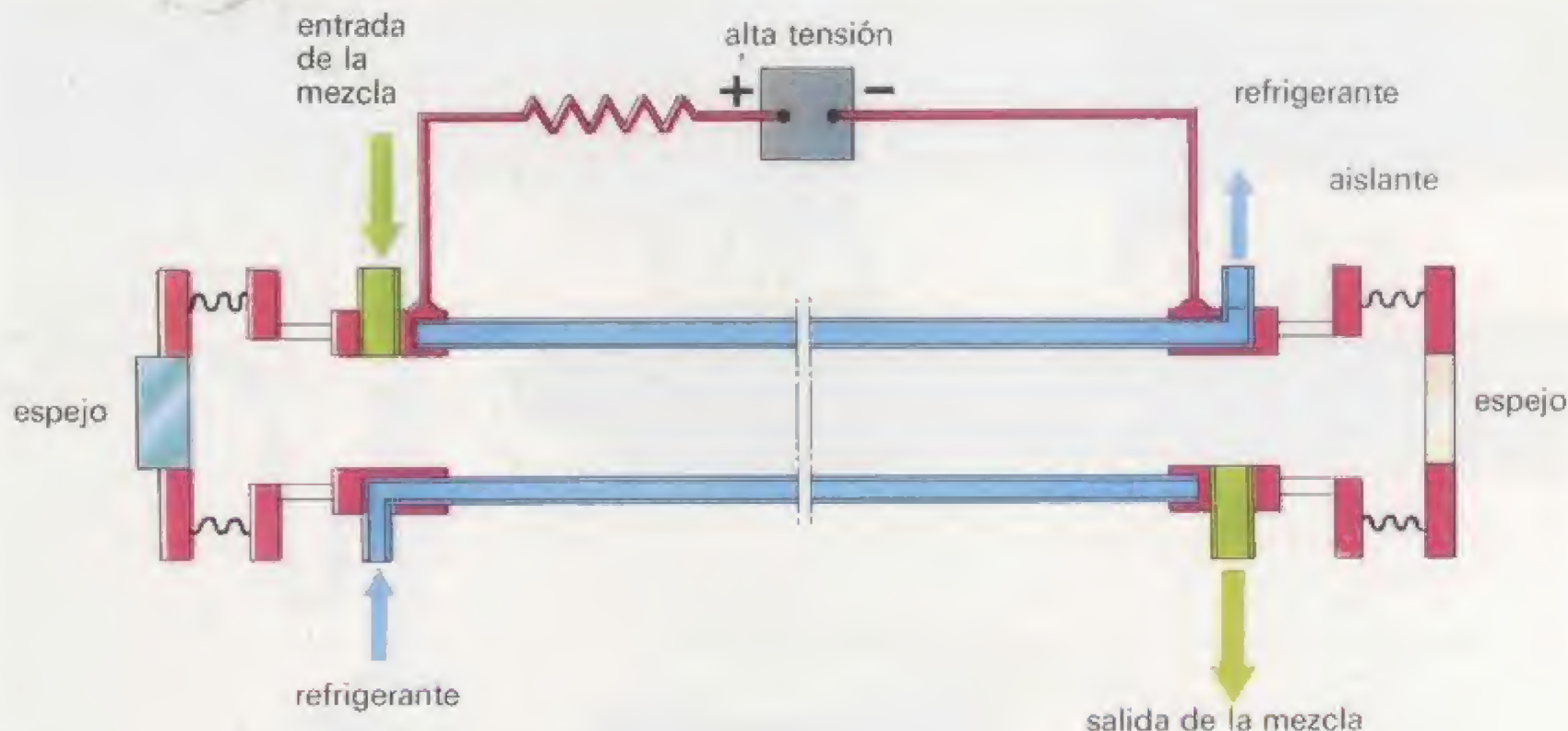
La palabra **LASER** procede de las iniciales de los términos ingleses *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (es decir, *amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación*). Albert Einstein fue el primero que imaginó un láser cuando en 1917 predijo la existencia de una *emisión estimulada*, fenómeno que hace posible la existencia del láser.

Láser de dióxido de carbono. Este tipo de láser puede emitir aproximadamente una

potencia de 50 vatios por metro, independientemente del diámetro del tubo.

Su rendimiento puede ser muy elevado, alcanzando incluso el 20%; se mide por la

relación entre la potencia óptica emitida y la potencia eléctrica de descarga.



A la izquierda, láser de electrones libres: un aparato acelerador proporciona un haz de electrones que pasa por una región en la que se produce un campo magnético periódico. Se puede obtener el fenómeno de emisión estimulada por medio de la interacción de la

luz y de los electrones que se propagan en el campo magnético periódico. También se puede conseguir fácilmente distintas longitudes de onda de la radiación emitida, con sólo variar el período del campo magnético y/o la energía del haz.

Qué es la luz Los átomos tienen la capacidad de adquirir o perder energía en cantidades muy pequeñas; (cada una de esas cantidades se denomina *cuanto* y son las unidades de energía más pequeñas que existen).

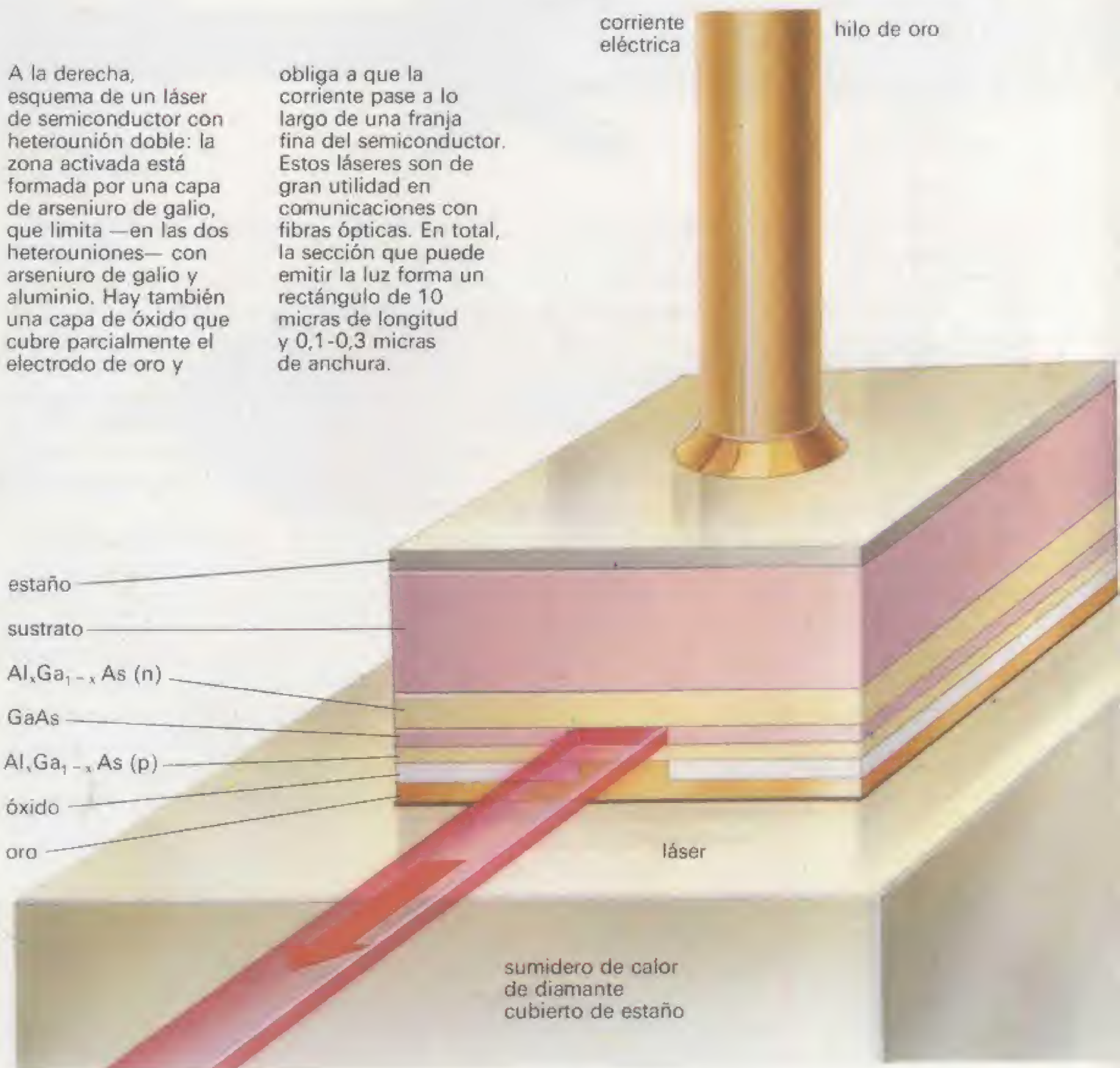
La mayor parte de los átomos se encuentra en un *estado fundamental*, es decir, tiene el nivel de energía más bajo que puede alcanzar normalmente. Cuando un átomo absorbe un cuanto de energía, pasa casi instantáneamente del nivel de energía inferior a otro superior y entonces se dice que se encuentra en un *estado excitado*. Cuando el átomo pierde esa pequeña cantidad de energía, desciende a un nivel más bajo, proceso en el que emite fotones como producto secundario.

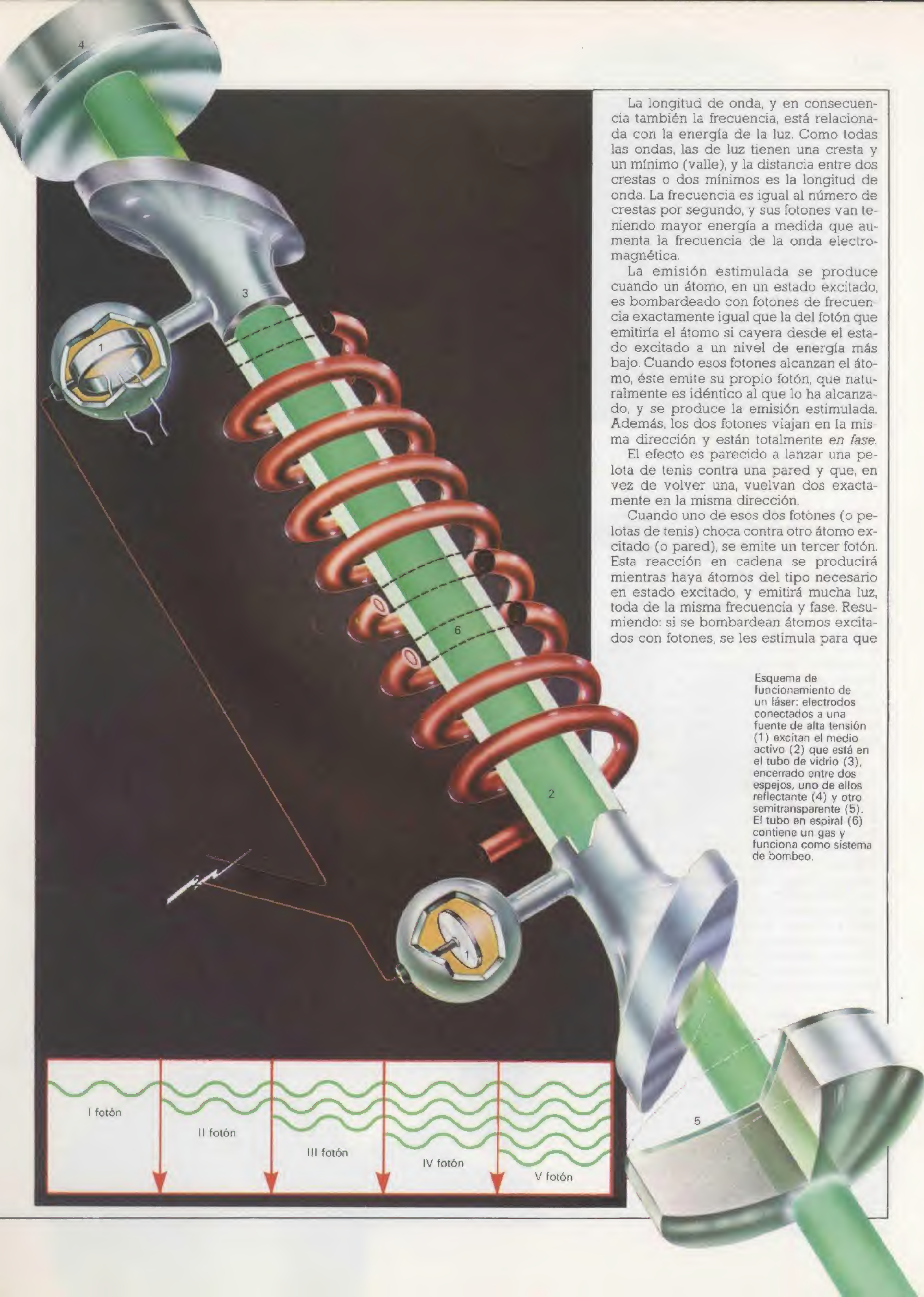
Es muy difícil describir cómo son los fotones y de hecho no hay nadie que esté completamente seguro de saber exactamente lo que son. Se sabe únicamente que éstos constituyen la cantidad más pequeña de luz que existe. Un rayo de luz está compuesto por cientos de millones de fotones, de la misma forma que una pequeña cantidad de materia está compuesta por cientos de millones de átomos.

Normalmente, los fotones son producto de la caída de los átomos desde un nivel de energía más alto a otro inferior. A cada fotón le caracteriza su *longitud de onda*, o frecuencia, que corresponde de forma bastante complicada al cuanto de energía que ha perdido el átomo al producir el fotón.

A la derecha, esquema de un láser de semiconductor con heterounión doble: la zona activada está formada por una capa de arseniuro de galio, que limita —en las dos heterouniones— con arseniuro de galio y aluminio. Hay también una capa de óxido que cubre parcialmente el electrodo de oro y

obliga a que la corriente pase a lo largo de una franja fina del semiconductor. Estos láseres son de gran utilidad en comunicaciones con fibras ópticas. En total, la sección que puede emitir la luz forma un rectángulo de 10 micras de longitud y 0,1-0,3 micras de anchura.





La longitud de onda, y en consecuencia también la frecuencia, está relacionada con la energía de la luz. Como todas las ondas, las de luz tienen una cresta y un mínimo (valle), y la distancia entre dos crestas o dos mínimos es la longitud de onda. La frecuencia es igual al número de crestas por segundo, y sus fotones van teniendo mayor energía a medida que aumenta la frecuencia de la onda electromagnética.

La emisión estimulada se produce cuando un átomo, en un estado excitado, es bombardeado con fotones de frecuencia exactamente igual que la del fotón que emitiría el átomo si cayera desde el estado excitado a un nivel de energía más bajo. Cuando esos fotones alcanzan el átomo, éste emite su propio fotón, que naturalmente es idéntico al que lo ha alcanzado, y se produce la emisión estimulada. Además, los dos fotones viajan en la misma dirección y están totalmente *en fase*.

El efecto es parecido a lanzar una pelota de tenis contra una pared y que, en vez de volver una, vuelvan dos exactamente en la misma dirección.

Cuando uno de esos dos fotones (o pelotas de tenis) choca contra otro átomo excitado (o pared), se emite un tercer fotón. Esta reacción en cadena se producirá mientras haya átomos del tipo necesario en estado excitado, y emitirá mucha luz, toda de la misma frecuencia y fase. Resumiendo: si se bombardean átomos excitados con fotones, se les estimula para que

Esquema de funcionamiento de un láser: electrodos conectados a una fuente de alta tensión (1) excitan el medio activo (2) que está en el tubo de vidrio (3), encerrado entre dos espejos, uno de ellos reflectante (4) y otro semitransparente (5). El tubo en espiral (6) contiene un gas y funciona como sistema de bombeo.



emitan luz, fenómeno que se llama *emisión estimulada de radiación* (SER en la palabra *láser*).

Interior del láser Se pueden utilizar muchos materiales distintos para producir este tipo de luz. El científico norteamericano T. H. Maiman fabricó, en 1960 el primer láser con una barra de rubí. Un grupo de científicos soviéticos realizó un láser muy parecido más o menos en la misma fecha. La luz se proyecta continuamente sobre la barra cilíndrica, haciendo que los átomos de cromo del rubí pasen al estado excitado al absorber energía de la luz. Cuanto mayor es la cantidad de luz de la frecuencia necesaria que incide sobre la barra, más se estimula a los átomos a que emitan fotones, todos de una determinada frecuencia.

En los extremos de la barra de rubí hay dos espejos, siendo uno de ellos semitransparente. El espejo totalmente reflectante hace que toda la luz que llega a él se refleje, mientras que el semirreflectante permite que algo de luz lo atraviese.

La mayor parte de los fotones emitidos alcanza los lados de la barra de rubí, pero algunos fotones rebotan hacia adelante y hacia atrás entre los dos espejos, recogiendo nuevos fotones cada vez que golpean un átomo. Al final el haz de luz será lo suficientemente fuerte como para que, una vez atravesado el espejo semitransparente, se pueda utilizar: este rayo de fotones idénticos es el rayo láser.

Luz coherente Normalmente, la luz está formada por un conjunto de ondas de frecuencias distintas. Sus fotones están chocando continuamente entre sí, anulándose momentáneamente y desplazándose en direcciones distintas. En términos científicos se dice que la luz normal es *incoherente*. Esta incoherencia es precisamente la causa de la rápida difusión en todas direcciones de la luz de un *flash*.

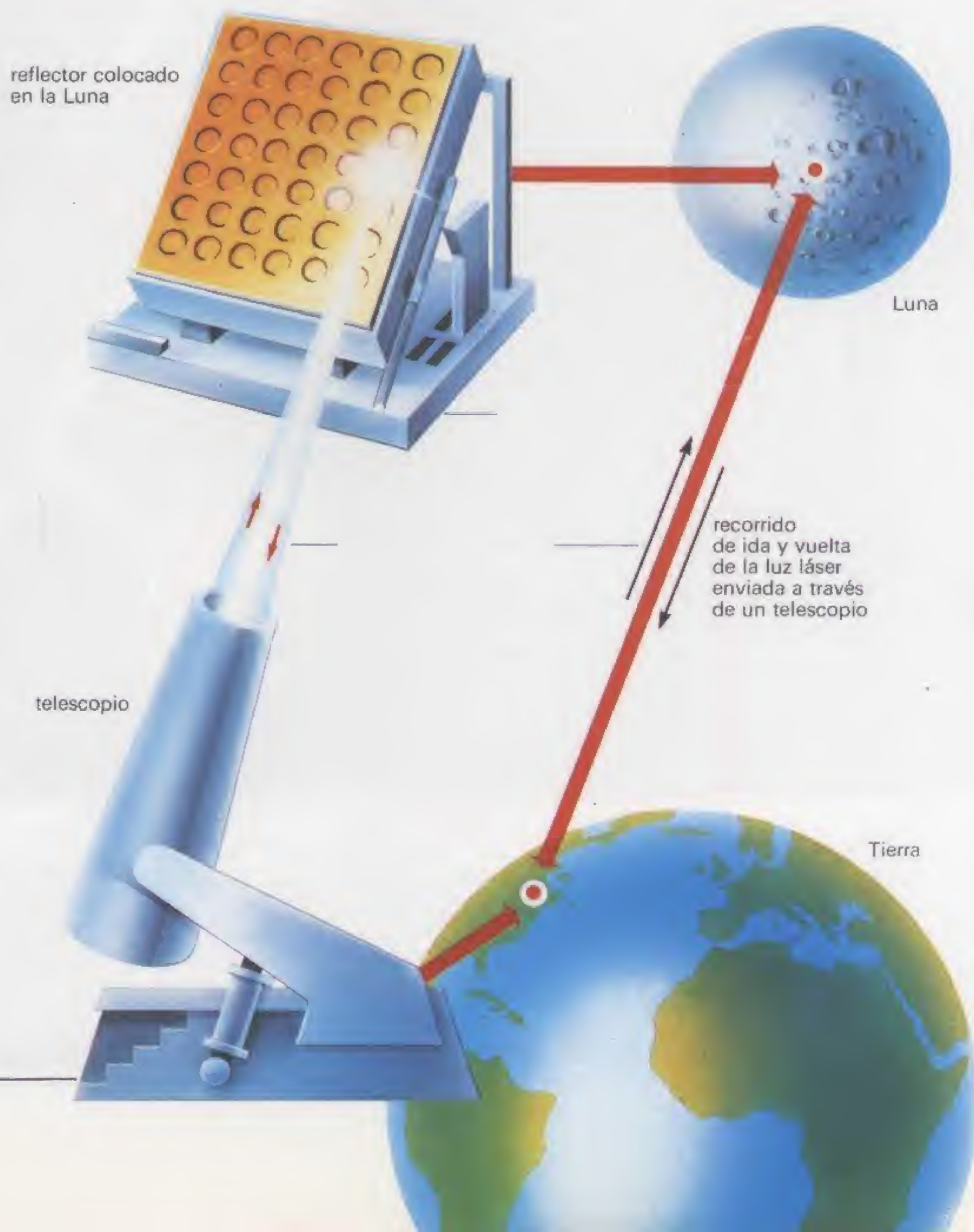
La luz del láser, en cambio, es *coherente*: toda de una frecuencia única y toda en una dirección precisa. En vez de difundir-

En muchos casos, para realizar determinadas medidas, es preciso utilizar aparatos muy especializados: unas veces porque la magnitud a medir es demasiado grande (por ejemplo, el radio de la Tierra) o demasiado pequeña (las

dimensiones de un átomo), y otras porque el objeto al que se refiere la medida está demasiado lejos (por ejemplo, una estrella) o es inaccesible (por ejemplo, un yacimiento subterráneo de minerales). En todos estos casos se tienen

que utilizar métodos de medida indirectos, en los que se emplean aparatos muy complejos, que se basan en distintos principios. Bajo estas líneas, el reflector de láser que dejaron los astronautas estadounidenses

Armstrong y Aldrin, destinado a recibir y reflejar rayos láser enviados desde la Tierra. En las fotos de arriba, un aparato que utiliza el láser de helio y neón para establecer la alineación marina y otro que se emplea en el campo industrial.



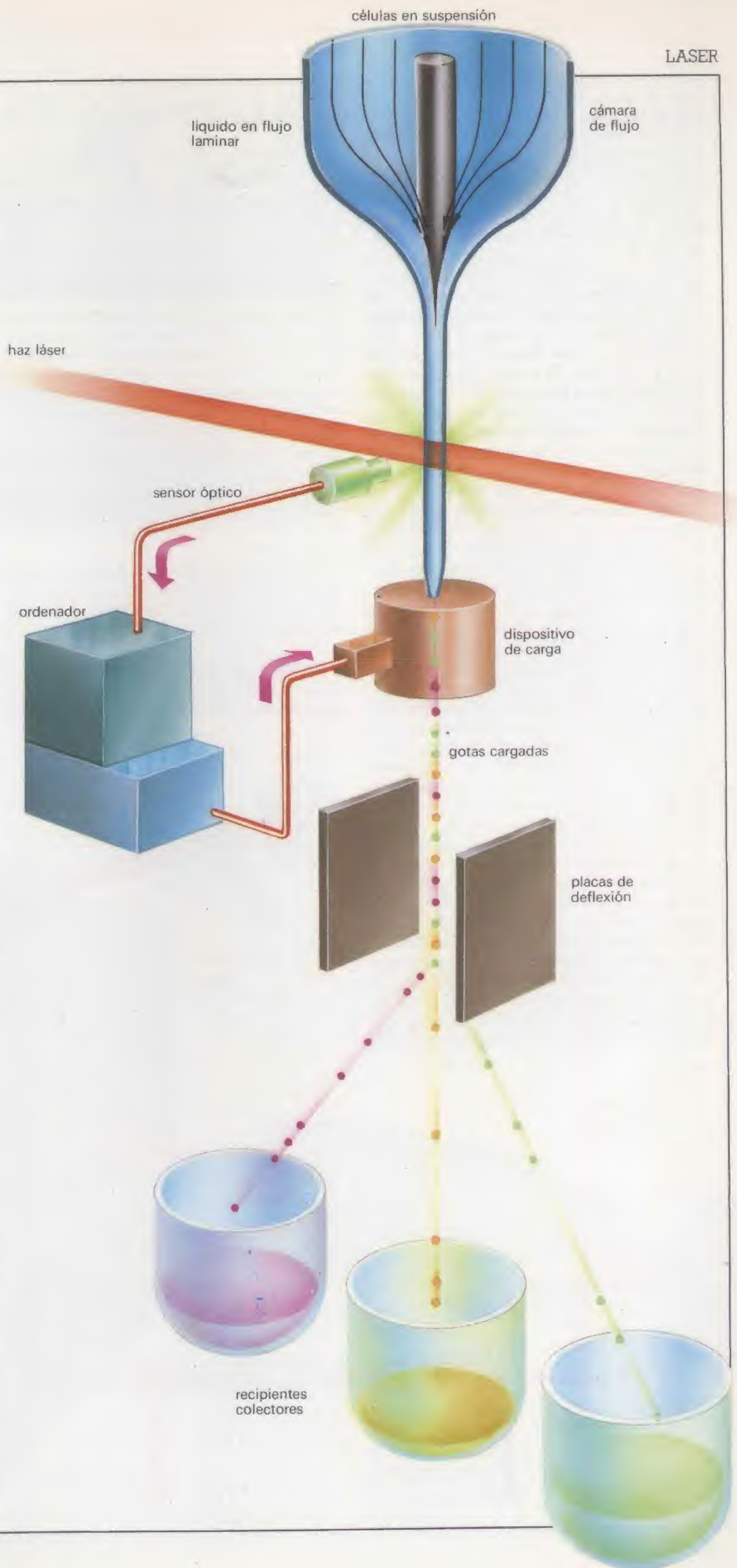
En el esquema que ocupa la mitad derecha de esta página vemos en qué consiste la citometría por flujo: el flujo de las células, una vez convertidas en fluorescentes, se registra con un haz láser muy colimado. De esta manera se puede diferenciar también el grado de fluorescencia del núcleo de la célula y del citoplasma. A cromosomas humanos —tratados con un colorante específico para el ADN— se les hace pasar en el sentido longitudinal por el haz láser, obteniéndose, a través de la observación de la fluorescencia, el perfil de distribución

espacial. Con este tipo de métodos se podrían detectar posibles anomalías cromosómicas: células o cromosomas con señales de fluorescencia conocidas se pueden separar automáticamente y recoger posteriormente. El sistema utiliza la subdivisión en gotas del flujo de salida de la cámara. Para ello, se emplea un transductor piezoeléctrico: las gotas se cargan eléctricamente y después se hace que se desvíen por medio de un campo eléctrico gobernado por la misma señal de fluorescencia.

se rápidamente en todas direcciones, el haz fino del láser irá siempre en la misma dirección y llegará más lejos. De hecho, los científicos han hecho que un rayo láser incida en la Luna y vuelva a la Tierra. La luz coherente está en fase, es decir, los puntos máximos y mínimos de todas las ondas que componen el rayo se producen al mismo tiempo. Aunque existe la hipótesis de que los fotones son partículas diminutas de luz, se comportan como ondas y en consecuencia pueden estar —entre ellas— en fase o desfasadas. La diferencia entre luz incoherente y luz coherente se puede entender mejor pensando en la diferencia existente entre una muchedumbre y un ejército: mientras que la muchedumbre corre en todas direcciones, el ejército se mueve ordenadamente en una dirección determinada. El grupo de soldados bien adiestrados es más eficaz que la muchedumbre desorganizada, y esta idea se puede aplicar a la luz coherente. Por ejemplo, un *flash* emite menos de 10 kilovatios por cm^2 , mientras que un rayo muy fino puede emitir hasta medio millón de kilovatios por cm^2 . Esta elevada potencia se produce tanto por el impresionante número de fotones generado por el láser como por el hecho de que todos ellos son de la misma frecuencia y fase.

El rubí no es el único material que puede emitir luz coherente (o, como ha dicho alguien, que puede "lasear"). Se ha experimentado con todo tipo de material, desde los licores a la gelatina, y los láseres obtenidos se han dividido en tres grupos principales: *láser de sólidos*, como el que utiliza la barra de rubí; *láser de gas*, y *láser de semiconductores*.

Los láseres de gas funcionan prácticamente como los tubos de neón de los anuncios luminosos. En éstos los átomos del gas que está en el interior del tubo se excitan con descargas eléctricas para producir luz. En el láser de neón los átomos de neón alcanzan un estado similar al alcanzado por los átomos de cromo en el láser de rubí. En él también se refleja la luz hacia adelante y hacia atrás a lo largo de



todo el tubo, hasta salir por un extremo. Los láseres de gas más comunes funcionan con neón, argón, helio, criptón y dióxido de carbono. Se pueden utilizar también algunos líquidos, pero producen rayos láser de luz pobre.

El tipo de láser más fascinante, descubierto además recientemente, es el láser de semiconductor, cuyo tamaño es reducidísimo. Los semiconductores son un tipo de materiales, como el silicio, que son buenos conductores a temperaturas altas, pero no a temperaturas bajas. El láser está formado por capas finas de arseniuro de galio y arseniuro de galio y aluminio. Esta última sustancia tiene electrones que saltan a la capa de arseniuro de galio cuando la corriente eléctrica pasa a través de su estructura y emiten el exceso de energía en forma de fotones. Los extremos del cristal están pulidos como espejos y los fotones rebotan hacia adelante y hacia atrás hasta que se liberan en forma de rayo intenso de luz coherente.

Las aplicaciones militares se mueven en el campo de las grandes potencias, utilizando impulsos de gran energía. Para la emisión del láser se utilizan átomos que necesitan un proceso de bombeo (producido continuamente, por ejemplo, con microondas en el láser de gas o con la radiación de un *flash* óptico en el de rubí). En los usos militares se necesita mucha energía y muy concentrada en poco tiempo. Por esto se ha utilizado para bombear los átomos la energía de una explosión, o también, que es prácticamente lo mismo, una reacción química muy veloz. Como es lógico, es necesario que la explosión provoque el bombeo y la sucesiva descarga de la energía de los átomos antes de que se destruya el sistema óptico. Con sistemas de este tipo ya se han podido destruir misiles y aviones en vuelo, primero con sistemas situados en tierra y ahora con otros instalados en los aviones. La ventaja principal del láser como arma es la velocidad del "proyectil", que es la velocidad de la luz, y la desventaja es el te-

ner que utilizarlo en el espacio transparente de la alta atmósfera o en el vacío del espacio.

En el campo científico el láser es muy útil en muchas aplicaciones, y de ellas quizá la más importante sea el estudio de la estructura atómica. Los electrones, dentro del átomo, saltan de una órbita a otra en tiempos muy cortos. Medir estos tiempos con las técnicas normales de laboratorio resulta difícil, porque el período de tiempo que permanece un electrón excitado en la órbita de energía mayor es del orden de cienmillonésimas de segundo. Con los dispositivos experimentales adecuados se puede obtener en un láser una emisión que dure solamente una billonésima de segundo, lo que es muy útil para estudiar con detalle los movimientos del electrón en el átomo, que, en comparación, son lentísimos. Téngase en cuenta que en un tiempo tan pequeño la luz recorre sólo una distancia de tres décimas de milímetro.

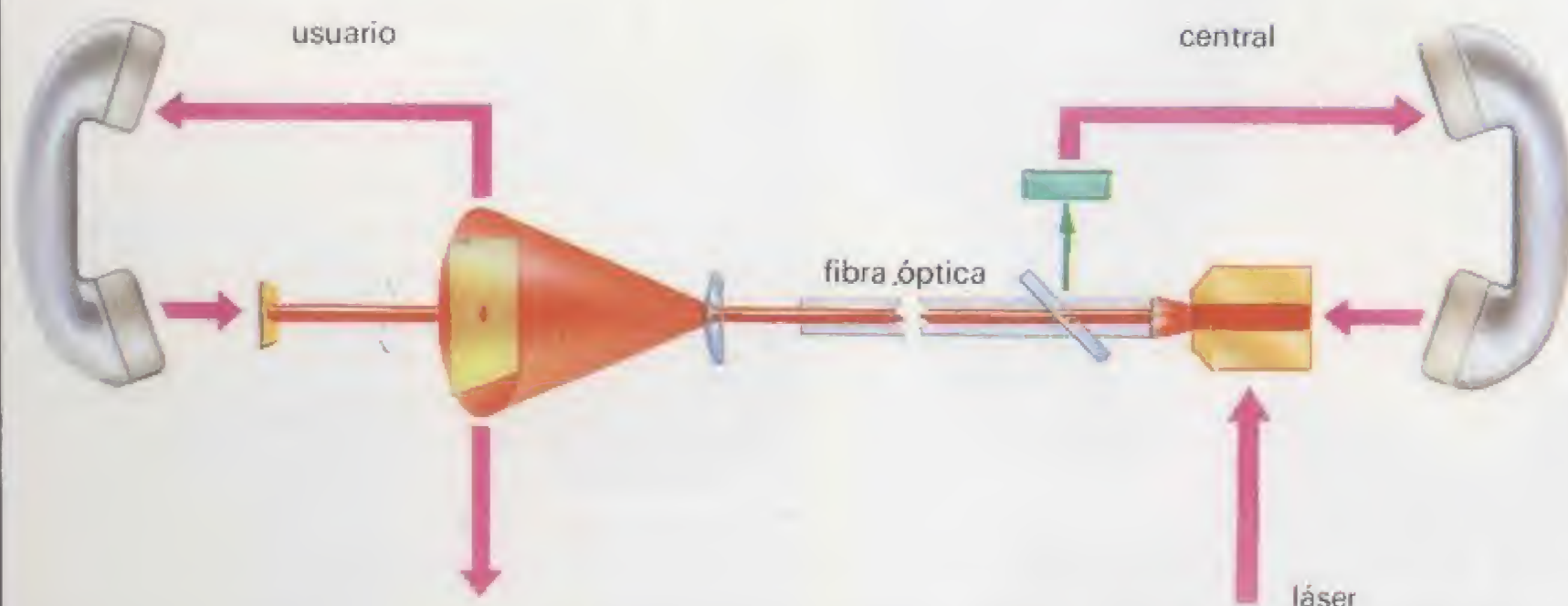
En cualquier caso, esto es sólo el principio: en los próximos años estas aplicaciones parecerán modestas y se habrán superado totalmente.

Aplicaciones del láser Los diversos tipos de láser producen luz de distinta longitud de onda, llegando hasta las altas fre-

cuencias de los rayos X. Además, la propiedad de ser coherente hace que la luz láser sea muy valiosa para una gran cantidad de fines.

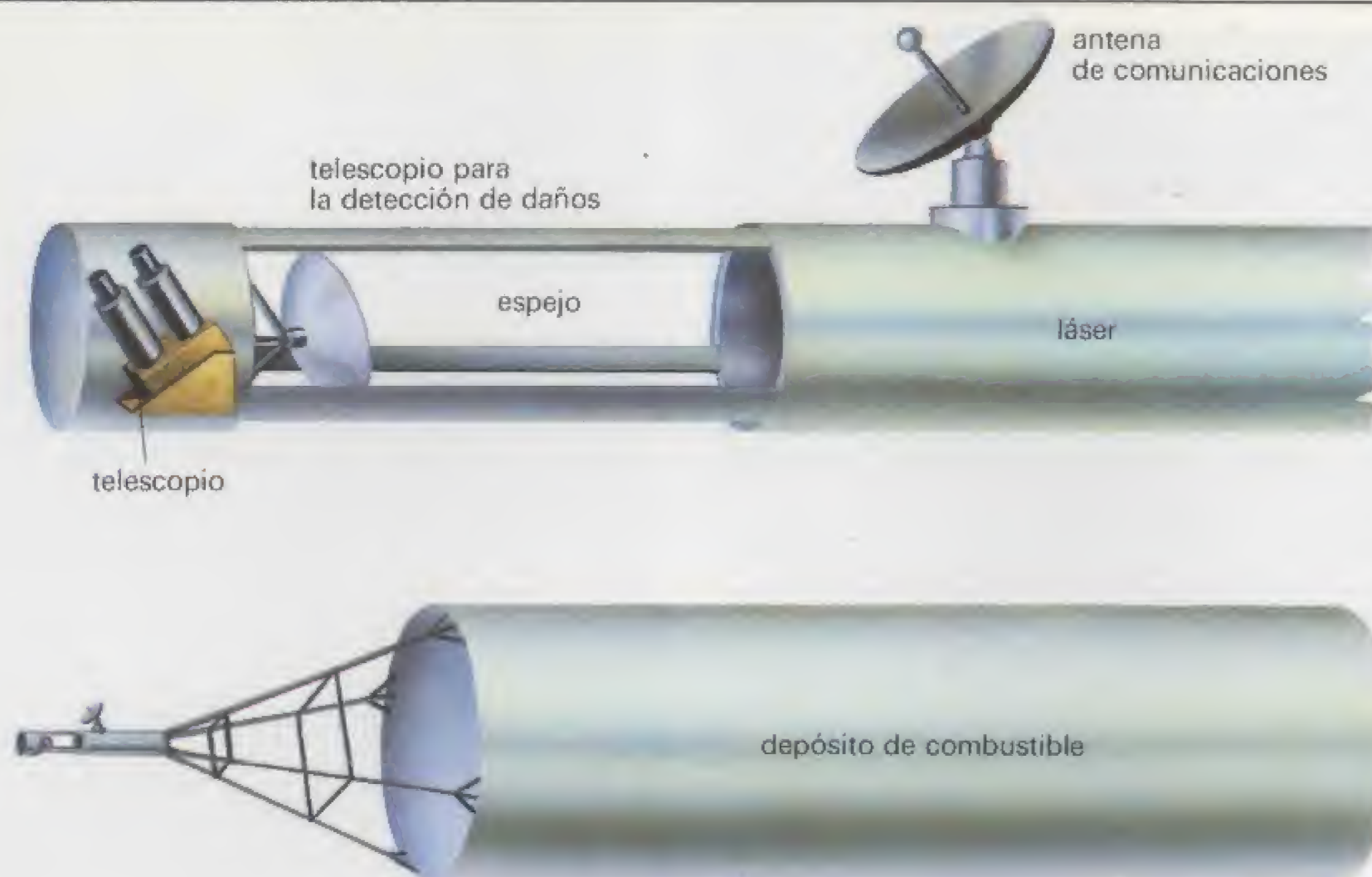
Los láseres son muy útiles en la industria porque su rayo fino e intenso se puede utilizar como instrumento de precisión para cortar materiales duros, como el diamante y el acero. El chorro de fotones que incide en un área tan pequeña aumenta los niveles de energía de las moléculas de esa zona, de tal forma que las moléculas se evaporan casi instantáneamente. Todo esto se produce tan rápidamente que el resto del material no tiene tiempo de calentarse. También se pueden hacer agujeros en materiales inatacables por las puntas de taladro.

Los cirujanos emplean también el láser como bisturí para operaciones en partes del cuerpo tan delicadas que no se pueden tocar con los bisturíes normales. Un ejemplo de su utilización en Medicina son las operaciones en el ojo, donde es difícil trabajar, sobre todo en zonas que están detrás del globo ocular. Algunas veces la retina —el estrato de células que se encuentra en la parte trasera interna del globo ocular y que forma el extremo del nervio óptico— se separa del resto. Los láseres se emplean en este caso para sujetar ese delicado tejido en su sitio.



La utilización de fibras ópticas en el campo de la telefonía puede ser revolucionaria, al poder establecer en poco tiempo conexiones directas entre grandes ciudades, aunque

estén bastante distantes, sin tener que utilizar etapas de amplificación intermedias: esto podrá reducir notablemente los costes y mejorar las condiciones de servicio.



El arma espacial: un satélite armado con un láser tendría que disponer de un telescopio óptico o de rayos infrarrojos para detectar el misil enemigo desde la fase de salida, y de un espejo para apuntar

el haz hacia el objetivo. El telescopio tendría que proporcionar constantemente datos al sistema, que podría desplazar el haz moviendo el espejo. La posible existencia de errores se indicaría

con un conjunto de telescopios y sensores capaces de valorar el fallo al alcanzar el objetivo. También está previsto un sistema de comunicación con las bases terrestres, a las que se envían los datos y desde las que

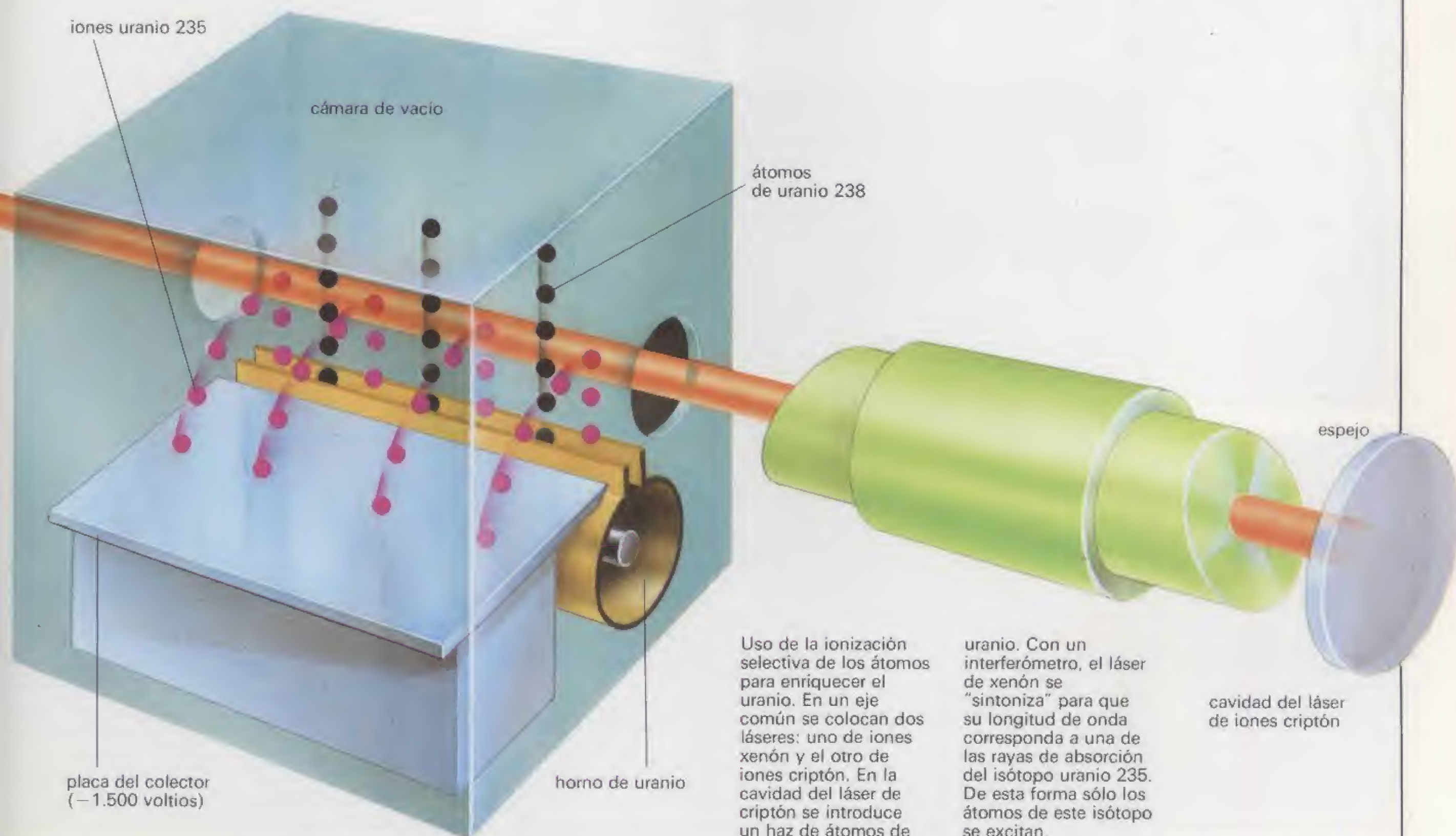
se reciben órdenes. Para el funcionamiento del arma se necesita un depósito enorme. El satélite "láser" podría ser verdaderamente el arma decisiva, porque podría controlar posibles misiles enemigos y destruirlos.

Los láseres de semiconductores se utilizan mucho en telecomunicaciones, ya que su rayo puede transmitirse por largos conductores de vidrio llamados *fibras ópticas*. Una vez que está dentro de la fibra, el rayo viaja como un proyectil, rebotando en las paredes. Las fibras se usan también como cables para grandes distancias. Al emitir el rayo en impulsos según un código, se puede utilizar para enviar mensajes por la fibra. Actualmente las fibras ópticas tienen ya muy buenas características de transmisión y podrían sustituir a los costosos cables convencionales.

Además de estos usos industriales y médicos, los láseres han contribuido al desarrollo rápido de la *holografía*. Los artistas pueden actualmente hacer fotografías en tres dimensiones y, en algunos casos, hacer que parezcan en movimiento. El efecto es muy bonito y misterioso y se pueden ver imágenes tales como una pequeña estatua que gira y hace gestos encerrada en un trozo de cristal sólido.

Otro tipo de láser, llamado *máser*, se emplea, por ejemplo, en la regulación del tiempo de los relojes de todo el mundo.

Los MASER (iniciales en inglés de *Amplificación de Microondas con Emisión Estimulada de Radiaciones*) son láseres que producen microondas, ondas electromagnéticas invisibles con frecuencias más ba-



Uso de la ionización selectiva de los átomos para enriquecer el uranio. En un eje común se colocan dos láseres: uno de iones xenón y el otro de iones criptón. En la cavidad del láser de criptón se introduce un haz de átomos de

uranio. Con un interferómetro, el láser de xenón se "sintoniza" para que su longitud de onda corresponda a una de las rayas de absorción del isótopo uranio 235. De esta forma sólo los átomos de este isótopo se excitan.

cavidad del láser de iones criptón



jas que la luz visible. Con un funcionamiento exactamente igual al del láser, los másers se inventaron primero, y de hecho el láser inicial se llamó *máser óptico*. Los másers, que emiten microondas utilizando hidrógeno como medio (igual que algunos láseres emplean el cromo de una barra de rubí), producen un rayo con una longitud de onda única y muy estable.

Todos los aparatos utilizados en la medida del tiempo se basan en algún dispositivo que origine un número alto de vibraciones regulares. Los relojes normales emplean péndulos de distintos tipos, pero éstos no son lo suficientemente precisos para los relojes que tienen que medir el tiempo de una forma casi perfecta. El má-

ser de hidrógeno produce oscilaciones muy regulares con las que se puede hacer funcionar *relojes atómicos*, el tipo de cronómetro utilizado en los laboratorios de precisión de distintas partes del mundo para fijar la hora.

Es difícil describir todos los usos de la radiación láser porque continuamente se están encontrando nuevas aplicaciones. Precisamente la utilidad que ha demostrado tener el láser en muchos campos estimula el desarrollo de nuevos tipos de fuentes y utilizaciones.

En la industria, donde se emplea para cortar tanto materiales metálicos como materiales altamente refractarios, se piensa en utilizar el calor producido por la ab-

La utilización del láser ha superado los límites restringidos de uso experimental, o solamente técnico, para introducirse casi en cualquier aspecto de nuestra vida, que experimentará una fuerte influencia. En las fotos de estas páginas, distintas formas de utilización del láser: para observación submarina y en la actividad industrial.



El láser permite la realización de medidas y trabajos que antes eran completamente impensables. La industria y la ciencia están alcanzando objetivos destinados a permitir una automatización cada vez mayor y un conocimiento más profundo de las leyes físicas y biológicas.

sorción de la radiación para producir el temple superficial de muchos metales. Una aplicación de esta idea en la industria del automóvil sería el endurecimiento de los cilindros del bloque del motor para que los pistones puedan correr y desplazarse si necesidad de utilizar camisas. Esta aplicación no es tan importante en sí misma, sino por el hecho de que estimula el desarrollo de láseres capaces de emitir grandes potencias ópticas continuas. En el corte de chapa se llega a algunos kilovatios, pero para otras aplicaciones se necesitan cientos. Por ello se usa un sistema en el que el gas (o incluso un líquido) circula, cargando sus átomos en una determinada zona para ir a descargarlos entre los espejos que producen la emisión estimulada y coherente.

Véase **Fibras ópticas; Holografía; Luz**



Lavadora

Hacer la colada a mano o con una vieja lavadora significa lavar la ropa en agua jabonosa, enjuagarla y, por último, retorcerla. Las actuales lavadoras automáticas, por el contrario, "centrifugan" las ropas en lugar de retorcerlas. En ellas, el lavado de los tejidos se lleva a cabo haciendo pasar, con fuerza, agua y detergente a través de ellos. Las más difundidas son las de carga frontal, proyectadas para lavar de 4 a 6 kg de ropa. Las prendas son colocadas en un tambor de acero perforado que gira dentro de un cilindro hueco. Las lavadoras están constituidas por dos sistemas principales: el *eléctrico*, que regula el ciclo, y el *hidráulico*, que controla la entrada y la salida del agua.

Sistema eléctrico El mando del reloj programador pone en marcha y detiene

todas las operaciones (calentamiento del agua, lavado, enjuagado, vaciado y centrifugado), manteniendo la correcta secuencia de las mismas y permitiendo diversos tipos de lavado. Haciendo girar el mando hacia un programa para prendas delicadas, por ejemplo, la máquina no centrifugará del todo la ropa hasta el final del ciclo. El mando del programador tiene un motor semejante al usado en un reloj eléctrico común. Cuando no se quiere realizar una operación determinada, los contactos eléctricos del mando son abiertos, impidiendo así que quede establecido un circuito. Cuando es el momento de empezar el ciclo, el circuito se cierra. El otro componente principal del sistema eléctrico viene dado por los interruptores, que pueden funcionar de distintas formas. Si se abre la puerta de carga durante su funcio-

namiento, por ejemplo, el interruptor del pulsador de mando de la puerta se abre y el circuito queda interrumpido, impidiendo así que el tambor continúe girando. La mayoría de las lavadoras automáticas toma solamente agua fría de la red y la calienta mediante elementos calefactores eléctricos. Otros modelos pueden tomar indistintamente agua fría o caliente. En ambos casos, un termostato regula con precisión la temperatura del agua según el programa de lavado seleccionado previamente.

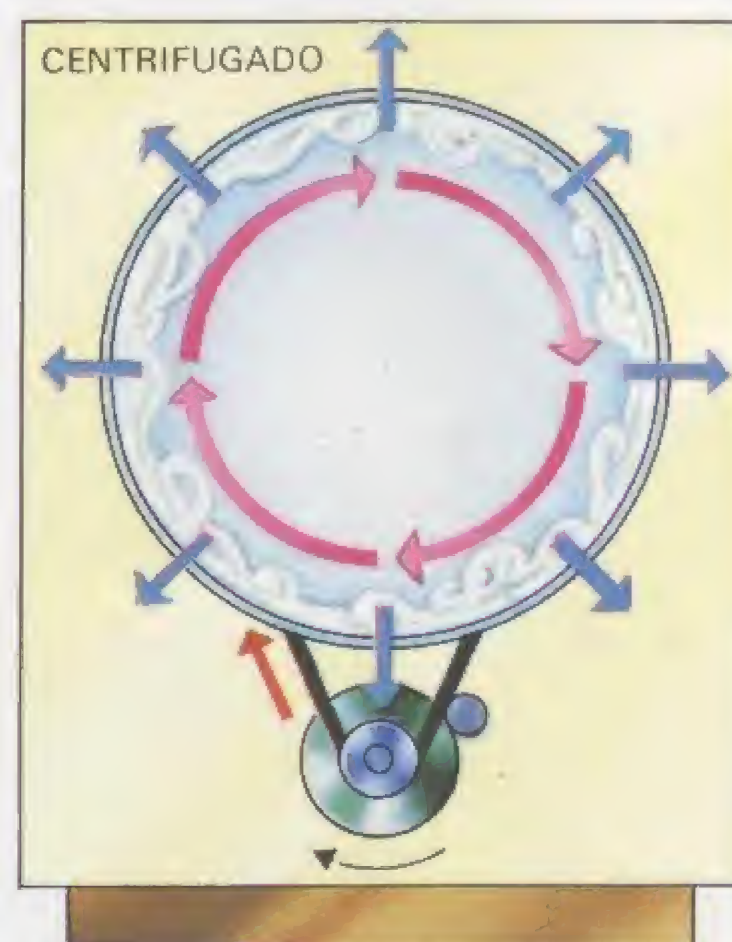
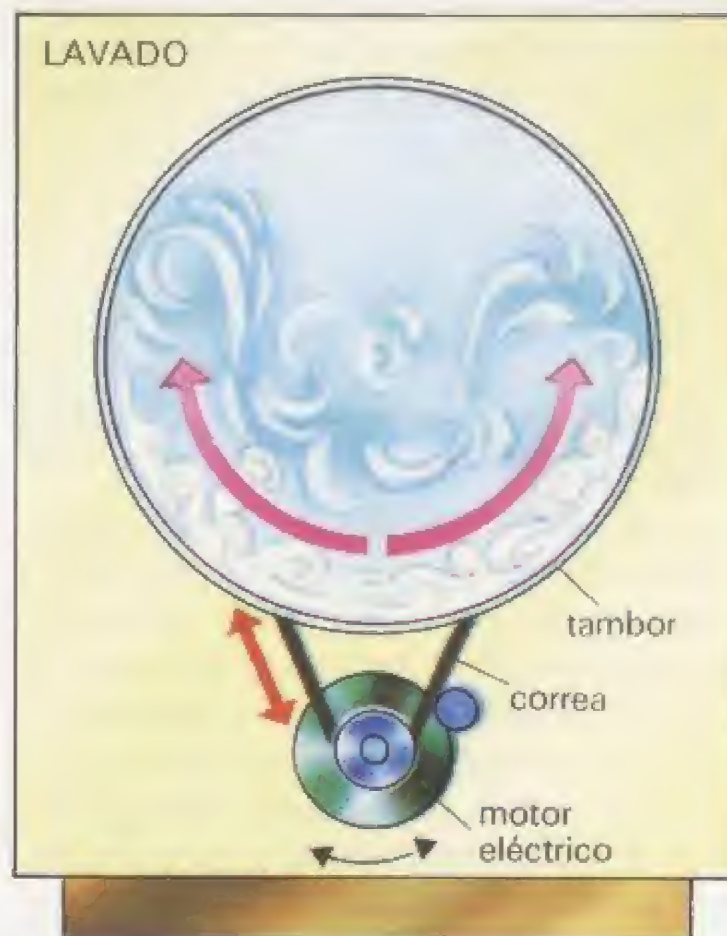
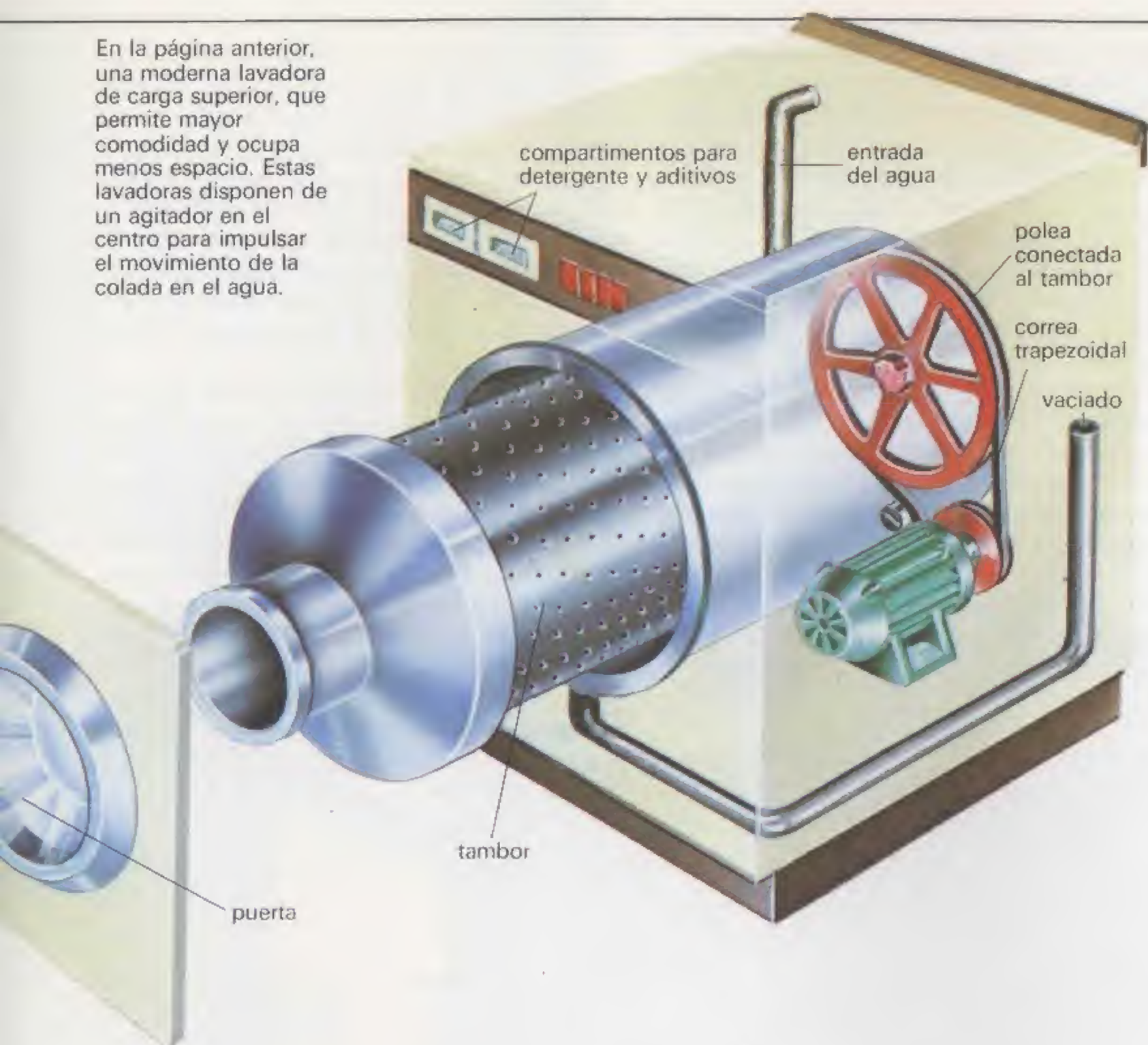
Sistema hidráulico Una vez seleccionado el programa, se conecta la máquina y el agua entra en ella a través de una válvula automática, que corta el suministro cuando el presostato le envía una señal. Mediante el programador se preselecciona también el nivel que el agua debe alcanzar en un ciclo determinado —bajo para lavar telas fuertes y alto para tejidos delicados y para aclarar—. El interruptor que controla esta operación suele funcionar a presión; cuando aumenta la presión del agua, el presostato que controla el flujo de la misma cierra la tubería de entrada. La válvula del agua, llamada también *válvula mezcladora*, deja pasar el agua al depósito. Además del motor síncrono para accionar el programador, otro motor mueve el tambor de lavado, y puede imprimirle continuamente cambios en el sentido de giro durante el lavado y el aclarado. En el centrifugado hace girar el tambor a velocidades de hasta 1.100 rpm. Una bomba envía el agua del depósito a través de un filtro para los ciclos de lavado y aclarado, y además elimina las aguas sucias al final del ciclo de lavado. Esta bomba está protegida por un mecanismo que impide el paso de objetos grandes. Un filtro (autolimpiable o no) retiene los hilos desprendidos de las prendas.

El ciclo Cuando se regula el mando programador de la máquina, el depósito se llena de agua. Entonces comienza el ciclo de lavado, en el que se incorpora el detergente, seguido por el ciclo de aclarado; después, el depósito es vaciado y la ropa centrifugada; por último, se detiene el rápido movimiento de rotación del tambor y la válvula del agua se abre nuevamente con objeto de rellenar el depósito para el segundo ciclo de aclarado. Al final, el depósito se vacía una vez más y la ropa es centrifugada para eliminar el exceso de agua hasta que queda casi seca. La máquina se detiene y sólo a partir de este momento es posible abrir la puerta para acceder al depósito y proceder a sacar la ropa.

Candi - Elettromarket Abruzzi, Milán

Véase Detergente; Limpieza en seco

En la página anterior, una moderna lavadora de carga superior, que permite mayor comodidad y ocupa menos espacio. Estas lavadoras disponen de un agitador en el centro para impulsar el movimiento de la colada en el agua.

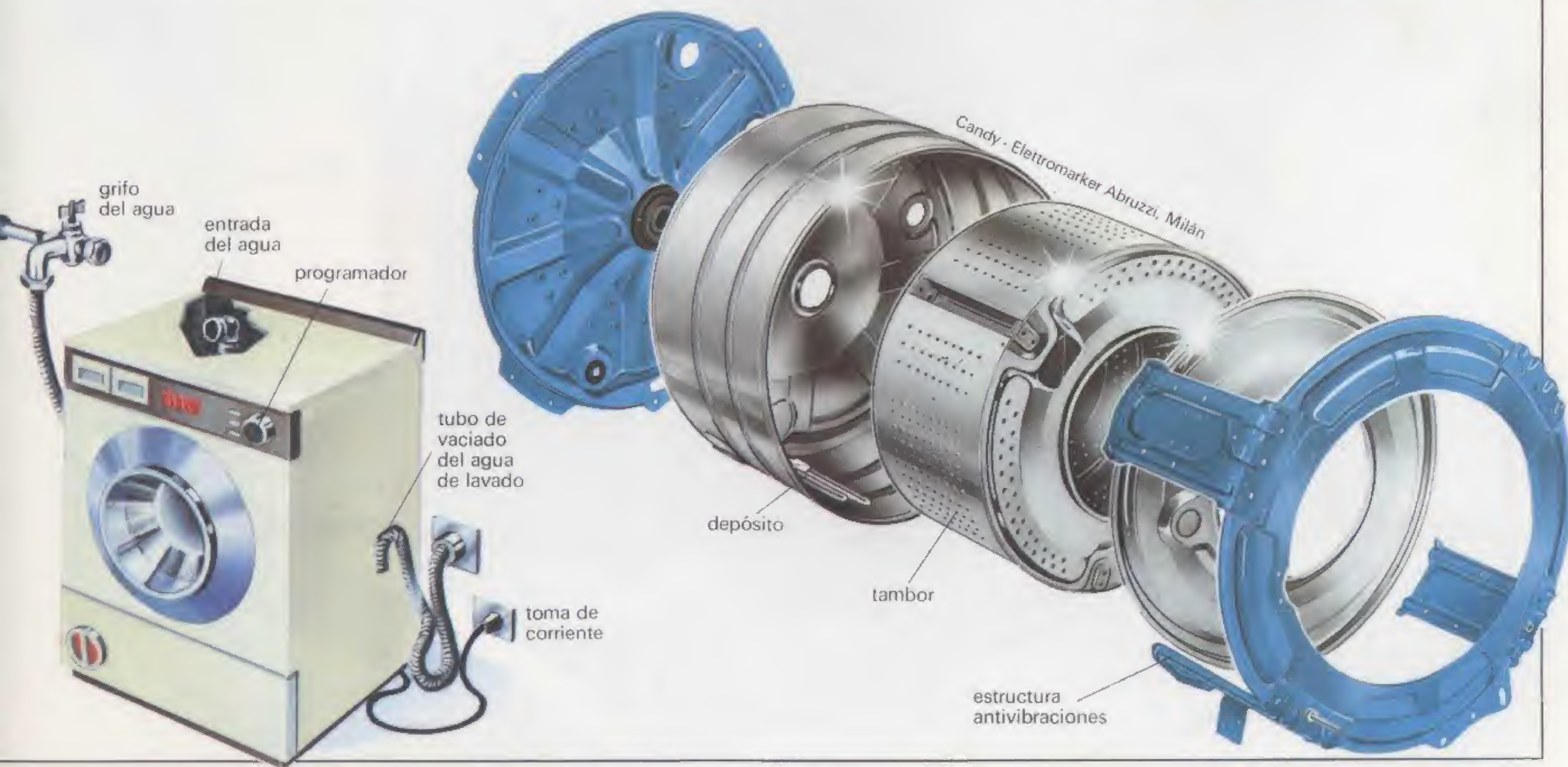


El "corazón" de una lavadora está constituido por el grupo depósito-tambor, que está continuamente sometido a esfuerzos de naturaleza física, química, mecánica y dinámica. Por ello es necesario el empleo de materiales sofisticados,

como el acero AISI 430, liso y que no se deforma, sin puntos de soldadura susceptibles de ser agredidos por la oxidación. Arriba, esquema de una lavadora automática. Al lado, cómo funciona el lavado y el

centrifugado de la ropa: arriba, el tambor es hecho girar alternativamente en los dos sentidos de las flechas por la correa que va conectada con el motor; abajo, para centrifugar la ropa lavada, el tambor gira velozmente en un

único sentido (flechas rosas), provocando la expulsión del agua (flechas azules) de las prendas. Abajo, a la izquierda, puede verse cómo va instalada una lavadora, con sus principales accesorios eléctricos e hidráulicos.



Lavavajillas

Cuando se lavan los platos a mano, se usa agua, detergente y una buena dosis de energía física en forma de "frotamiento" para limpiarlos. Un lavavajillas no actúa de modo muy diferente, a excepción del esfuerzo del fregado, que es reemplazado por la presión del agua.

Los elementos de un lavavajillas pueden agruparse en tres sistemas: el sistema hidráulico, el sistema de secado y el sistema electrónico.

El *sistema hidráulico* se compone de filtros, descalcificador, bomba, termostato y válvulas de retroceso, de cierre del depósito de detergente y de salida de agua. El *sistema de secado* consta de resistencias eléctricas que calientan el aire impulsado por un ventilador. El *sistema electrónico* regula el proceso mediante un programador, que contiene las órdenes para la ejecución, en el caso más sencillo, de un prelavado en frío, un lavado con detergentes en caliente, un aclarado y un secado con aire caliente.

El ciclo En primer lugar, la válvula de vaciado se abre y la bomba elimina el agua que queda del ciclo precedente. En

tonces la máquina vuelve a llenarse con agua limpia y se produce el prelavado.

Después comienza la fase de lavado. Los cacharros son lavados de forma diversa, dependiendo de que el lavavajillas tenga un rotor, o uno o más "molinillos" a chorro. El rotor es similar —pero más potente— al agitador de una lavadora. Cuando el agua hirviendo entra en el depósito, cubre el rotor, que la lanza con fuerza hacia arriba —contra los cacharros— con un movimiento rotatorio y la mezcla con el detergente. Los lavavajillas con "molinillos" a chorro tienen orificios en cada uno de los brazos, los cuales expulsan con fuerte presión agua hirviendo al interior del depósito. Si tiene solamente un "molinillo" a chorro, éste se encuentra situado en la parte baja del depósito; puede haber un segundo "molinillo" sobre la cesta de los vasos. El lavavajillas con "molinillos" a chorro suele tener un motor para mover la varilla del "molinillo".

Durante el lavado, el detergente —que está disuelto en el agua o se halla en el departamento correspondiente— se mezcla con el agua del lavado. En la siguiente parte del ciclo, el rotor o el "molinillo" a

chorro se detiene y la válvula de descarga del agua se abre. El motor del programador abre la bomba de desagüe y comienza así el vaciado.

Una vez que el agua ha salido del depósito, la válvula de desagüe se cierra, la válvula de entrada del agua se abre, y agua hirviendo llena nuevamente la máquina para el aclarado. Este dura de 3 a 5 minutos y después la máquina se vuelve a vaciar.

El ciclo arriba descrito puede repetirse, con la diferencia de que se producen dos aclarados y vaciados antes de la última fase del secado. Este se lleva a efecto mediante unas resistencias eléctricas. A veces no es necesario emplear el ciclo de secado; para ahorrar energía, se puede detener la máquina antes y el calor producido por el agua hirviendo de aclarado es suficiente para evaporar el agua de la superficie de los cacharros. Muchos lavavajillas modernos van provistos de un ciclo de ahorro de energía, que abrevia el tiempo de secado.

Véase Lavadora

En la ilustración grande que hay debajo de estas líneas se ve, seccionado, un lavavajillas para uso industrial, que permite

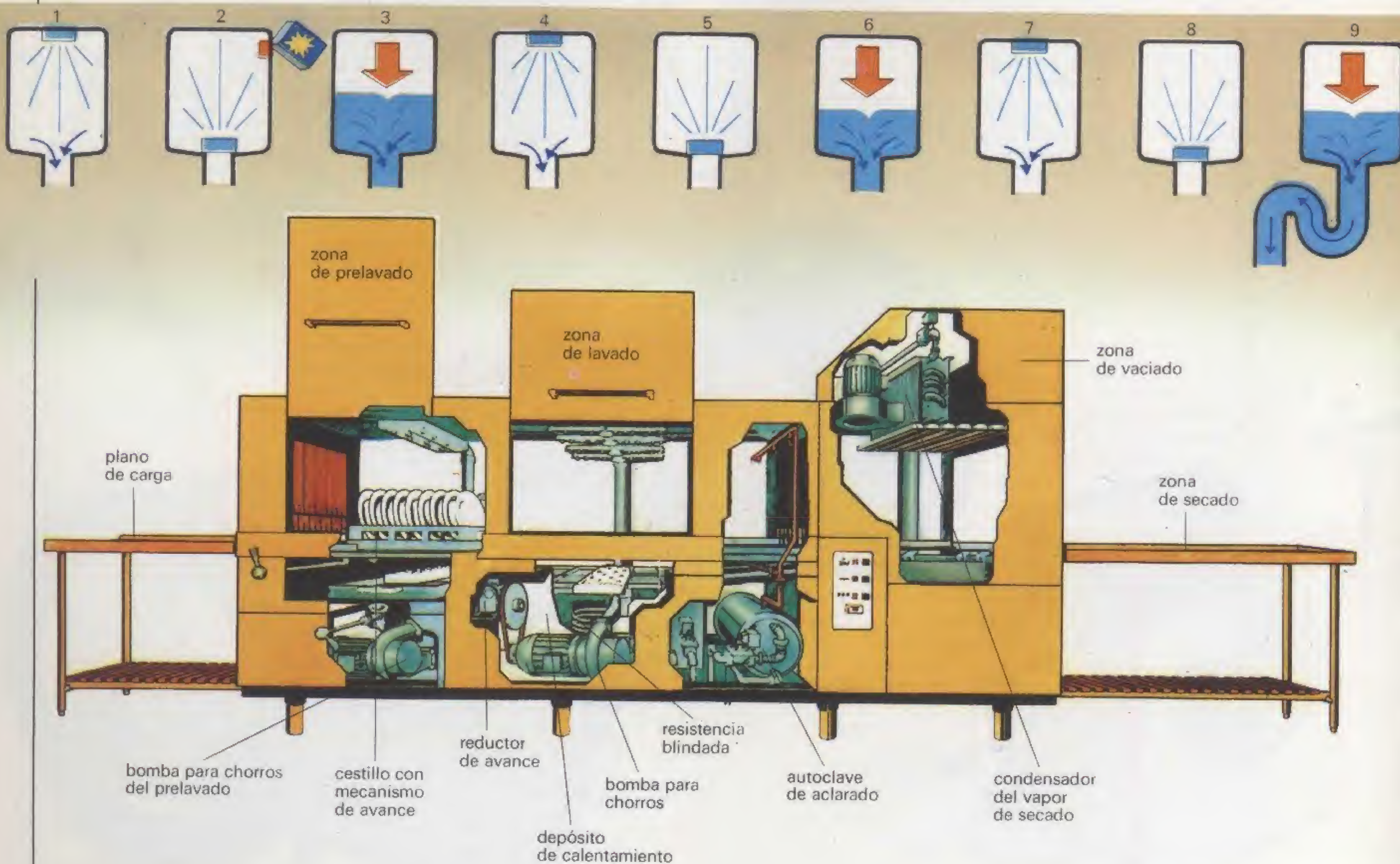
la introducción continuada de cestos con platos y cubiertos. Está dividido en tres zonas, dedicadas al prelavado, lavado

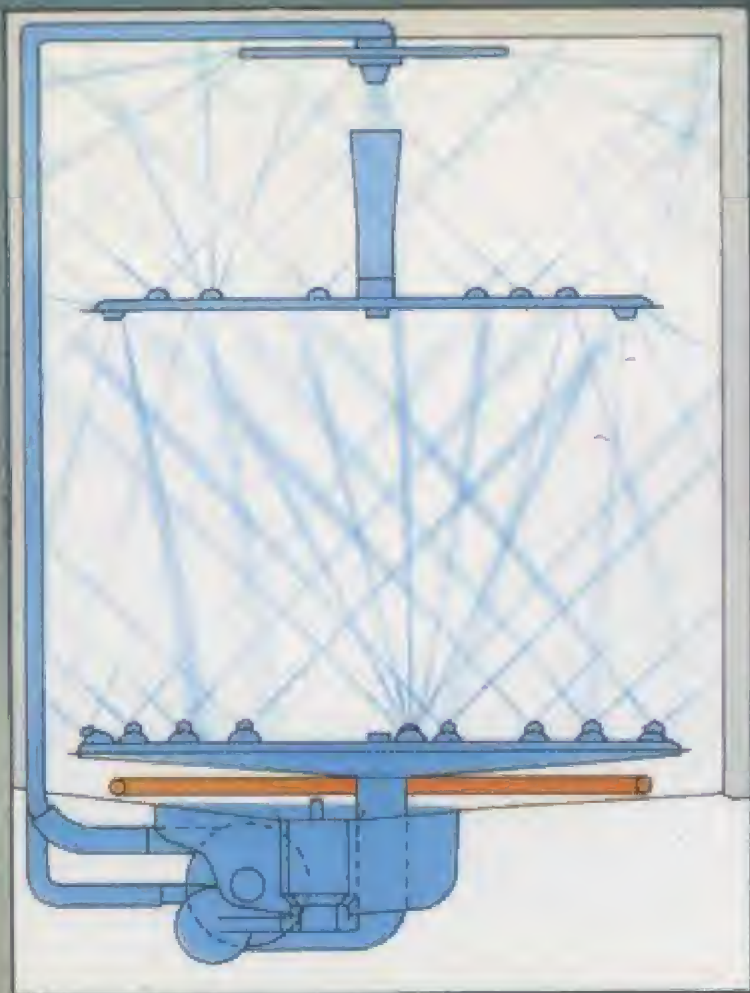
propriadamente dicho, aclarado y secado (que en algunas versiones es opcional). A ambos lados del aparato hay unas mesas de servicio

sobre las que se ponen los cestillos antes y después de su introducción en la máquina. Lavavajillas de este tipo están en

condiciones de lavar incluso 4.000 platos a la hora. Sobre él, los ciclos del lavavajillas: en 1, 4 y 7 lava con el desagüe abierto; en 3,

6 y 9 desagua; en 2 se produce el lavado con detergente; en 5 y 8 aclara con el desagüe cerrado; en 10, enjuaga.



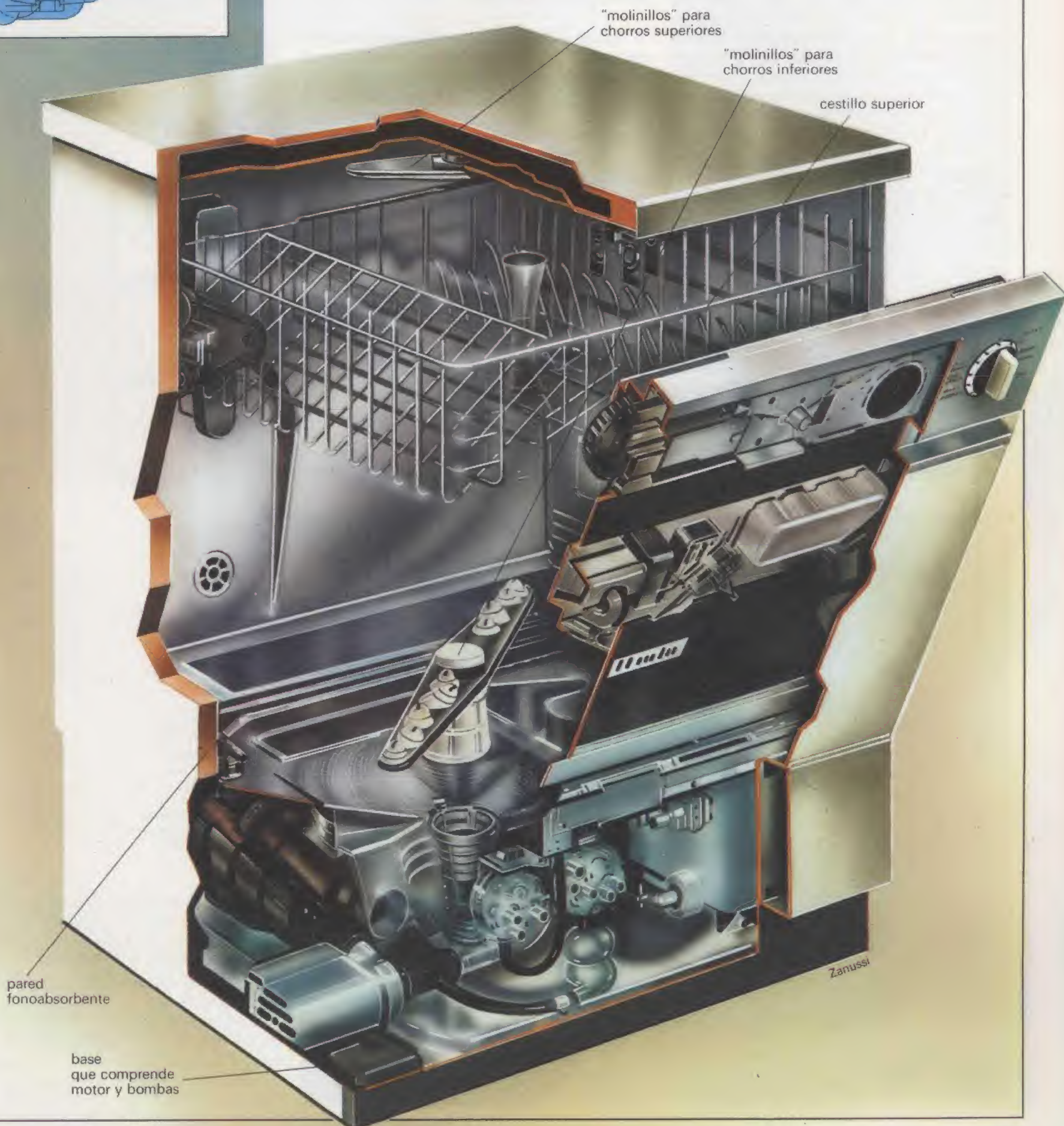


El lavavajillas para uso doméstico es una máquina compacta. La mayor parte de su volumen está ocupada por los cestos donde se colocan los cacharros. Los mecanismos de bombeo del agua, el termostato y los depósitos para el abrillantador y

el detergente ocupan un pequeño espacio. En estos lavavajillas hay un dispositivo especial para la introducción de un material descalcificador, cuya finalidad es suavizar el agua que de otro modo podría dejar depósitos calcáreos en la vajilla lavada, con pésimo

efecto estético, aunque sin ningún tipo de consecuencias en el plano higiénico. El mecanismo más importante es el de la bomba del agua caliente, que sirve para crear los potentes chorros de agua y detergente (detalle de arriba, a la izquierda). Siguen en importancia

la bomba para vaciar el agua sucia, y después, el depósito donde se efectúa el calentamiento del agua. Aun cuando el programa de lavado sea más simple que el de una lavadora, exige un programador, que normalmente se encuentra en la parte superior de la puerta.



Lector óptico (OCR)

Como indica su nombre, un *lector óptico de caracteres* es una máquina que puede "leer" información impresa en la forma utilizada normalmente y transformarla en informaciones electrónicas que se pueden almacenar en la memoria de un ordenador. Una aplicación de los lectores ópticos de caracteres es, por ejemplo, la clasificación de correspondencia según el código del distrito postal.

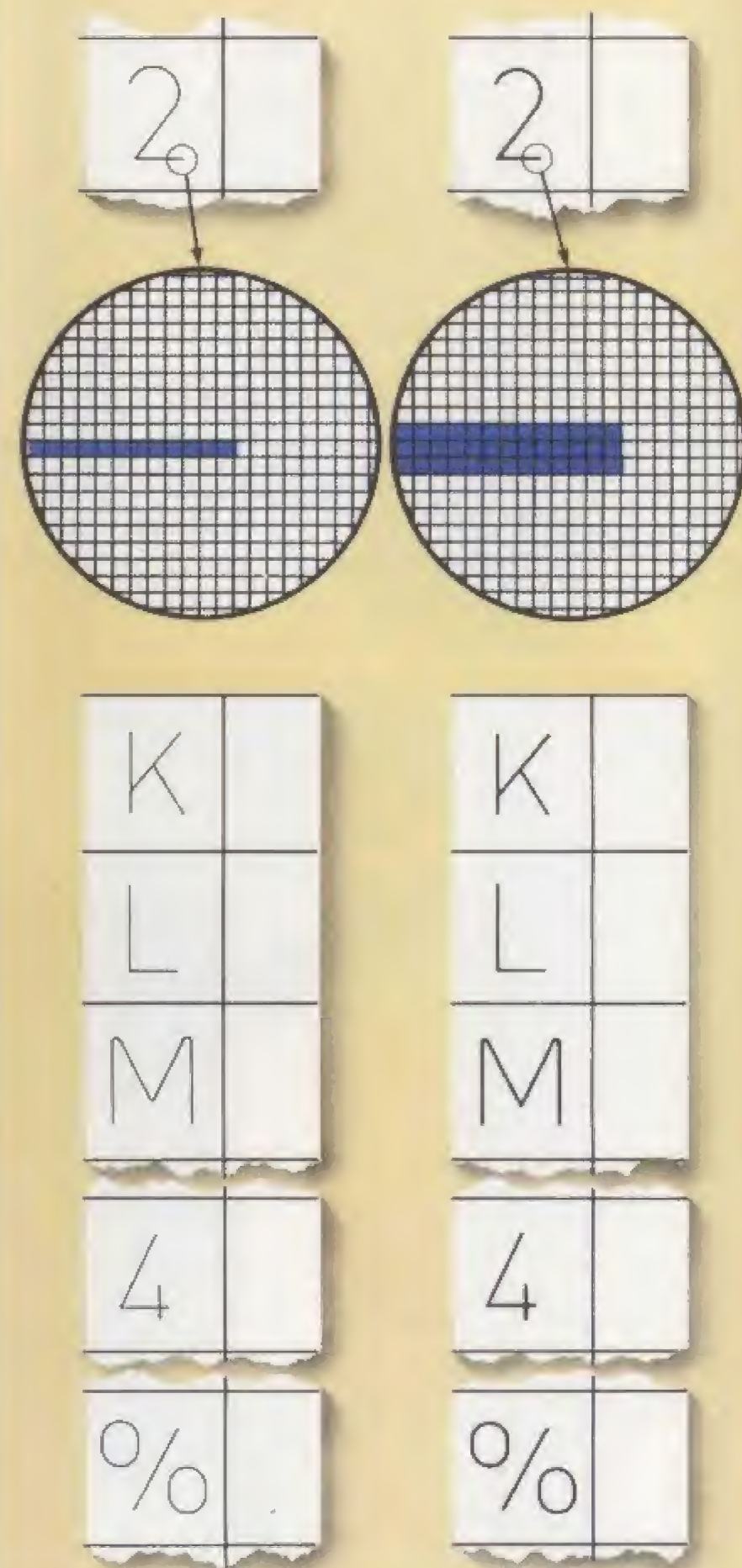
Elementos del sistema El reconocimiento óptico de caracteres se basa en la teoría y tecnología comunes de los ordenadores electrónicos, combinadas con un dispositivo para captar imágenes, como una pequeña cámara que "lee" la forma de las letras. En un lector óptico de caracteres, el papel que tiene impresos los signos tipográficos se coloca sobre una superficie como la de las fotocopadoras. Generalmente los escritos a mano presentan todavía muchas dificultades para que una máquina pueda "leerlos". El dispositivo para la formación de imágenes, llamado *analizador de línea*, recoge cada uno de los renglones, carácter a carácter. Cada carácter es, para el analizador de línea, un conjunto de puntos (llamados en inglés *pixel*, contracción de *picture elements*) con la forma del carácter. La configuración dada —que puede ser la letra "a"— se manda a la memoria del ordenador, que es una parte integrante del sistema que tiene almacenadas las diferencias entre los distintos caracteres alfabéticos y numéricos. El ordenador examina sus contenidos de memoria hasta que encuentra una letra igual a la transmitida, y cuando la ha encontrado, la graba en su memoria —o en la memoria de otro ordenador

(*word processor*)— en el formato electrónico habitual que tiene para letras y números. Después de haber analizado toda una página, el ordenador tiene en su memoria todos los caracteres impresos en dicha página, que se pueden procesar a partir de ese momento como cualquier dato tratable con ordenador, y en consecuencia también se pueden enviar por una línea telefónica, transmitir vía satélite y grabar en cinta o disco magnéticos. Si este proceso de "mirar" cada letra y compararla con una letra parecida de los registros internos parece demasiado largo, piénsese que un ordenador relativamente lento puede efectuar 200.000 operaciones de este tipo por segundo.

Variables en el reconocimiento de caracteres Los lectores de caracteres tienen un coste muy variable, debido a que en sus sistemas existen grandes diferencias que influyen en las prestaciones y, en consecuencia, en el coste.

Los lectores de caracteres más perfectos son capaces de "leer" casi todos los tipos de caracteres modernos. Como es lógico, esto necesita una capacidad de memoria muy grande para almacenar las configuraciones correspondientes a cada posible letra o número. Estas máquinas son más caras porque tienen que tener más capacidad y ser más rápidas para seleccionar registros de mayor longitud que los que se encuentran en máquinas con pocos tipos de caracteres. De todas formas, los lectores de menor coste se pueden programar para operar con cuatro o cinco tipos de signos.

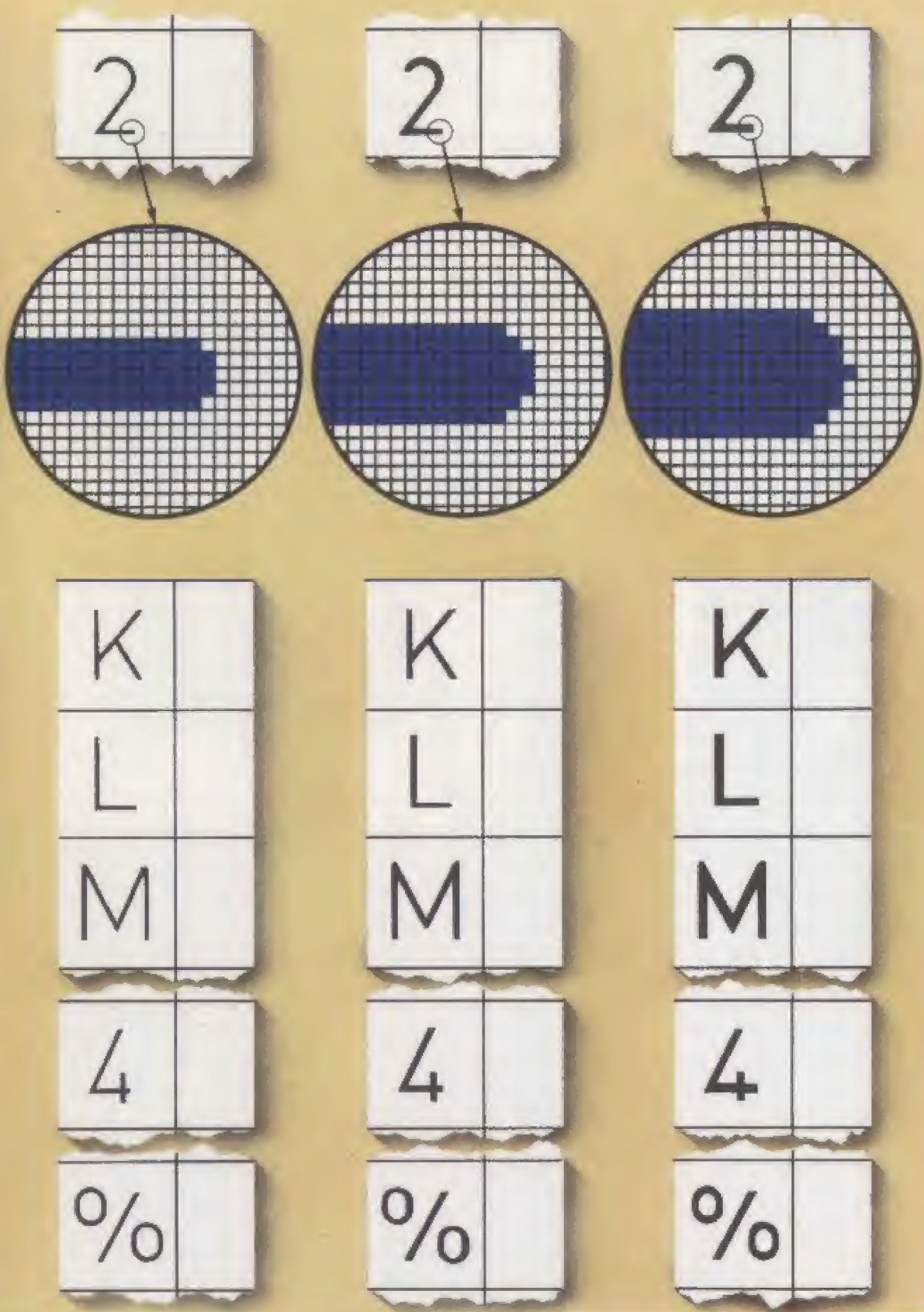
La velocidad de lectura de caracteres varía de unas máquinas a otras. Existen



El problema de la lectura óptica de caracteres escritos e impresos mediante un lector óptico (*Optical Character Recognition: OCR*) es parecido al de la interpretación automática de imágenes tomadas desde un avión o desde el espacio. Junto a estas líneas, la laguna de Venecia donde, mediante la aplicación de los métodos descritos, se puede identificar la presencia de cultivos, edificios, carreteras y fábricas de forma automática.

sistemas de reconocimiento de caracteres que pueden "leer" el equivalente a 300 páginas de libro en 5 minutos, mientras que otras necesitan 20 minutos. En general, cuanto más veloz es una máquina, mayor es su precio.

Finalmente, existen distintas maneras de analizar los caracteres. En algunos sistemas el dispositivo óptico analiza el texto explorando una línea después de otra, y en otros es el papel el que se mueve



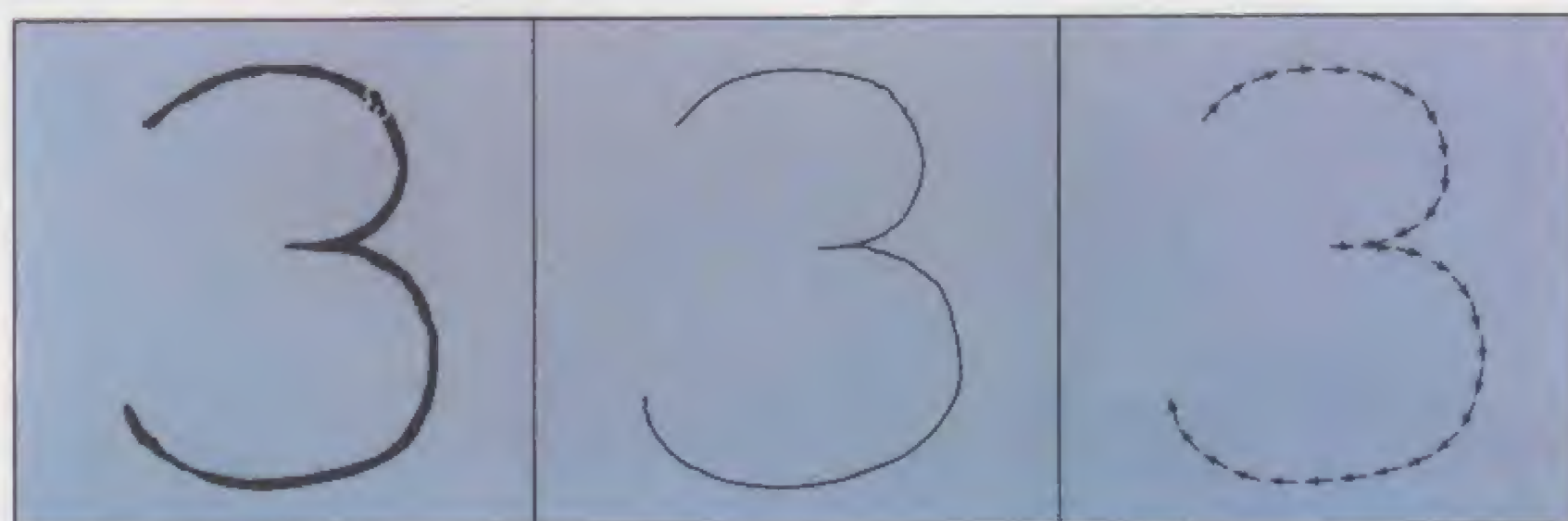
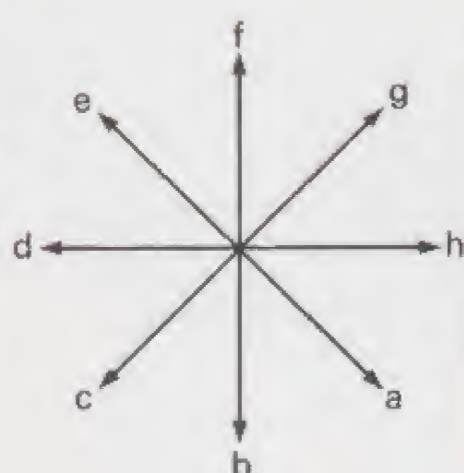
A la izquierda, el principio en el que se basa la lectura óptica de caracteres impresos con el método llamado *estadístico*. El lector óptico tiene un sistema de lectura, un sistema de interpretación y un sistema de comunicación. Con el primero ilumina el papel y transforma la figura del carácter en un conjunto de puntos blancos y negros; con el segundo decide el carácter que ha visto, y con el tercero se lo comunica al ordenador. El sistema de interpretación tiene en la memoria todos los caracteres que puede reconocer y sabe de cuántos puntos negros está compuesto cada carácter y cuál es su línea central o ésta misma ensanchada en una, dos o tres filas de puntos negros a cada uno de sus lados. Por cada carácter "leído" el sistema de cálculo hace la comparación entre su línea central y la que está en la memoria para todos los caracteres posibles, después se descartan los que se diferencian en un número de puntos prefijado. Se repite la operación con el mismo carácter añadiendo una fila más de puntos y así sucesivamente hasta que en la lista de posibles candidatos queda sólo uno: el carácter "leído".

bajo el dispositivo óptico. Con frecuencia los sistemas de reconocimiento óptico de bajo coste utilizan lentes y enfocan sobre una pantalla los caracteres en su orden correcto para la toma de imágenes. Este sistema necesita normalmente pocos elementos móviles, y, como sucede en general, un sistema es tanto más fiable cuanto menor es el número de partes en movimiento.

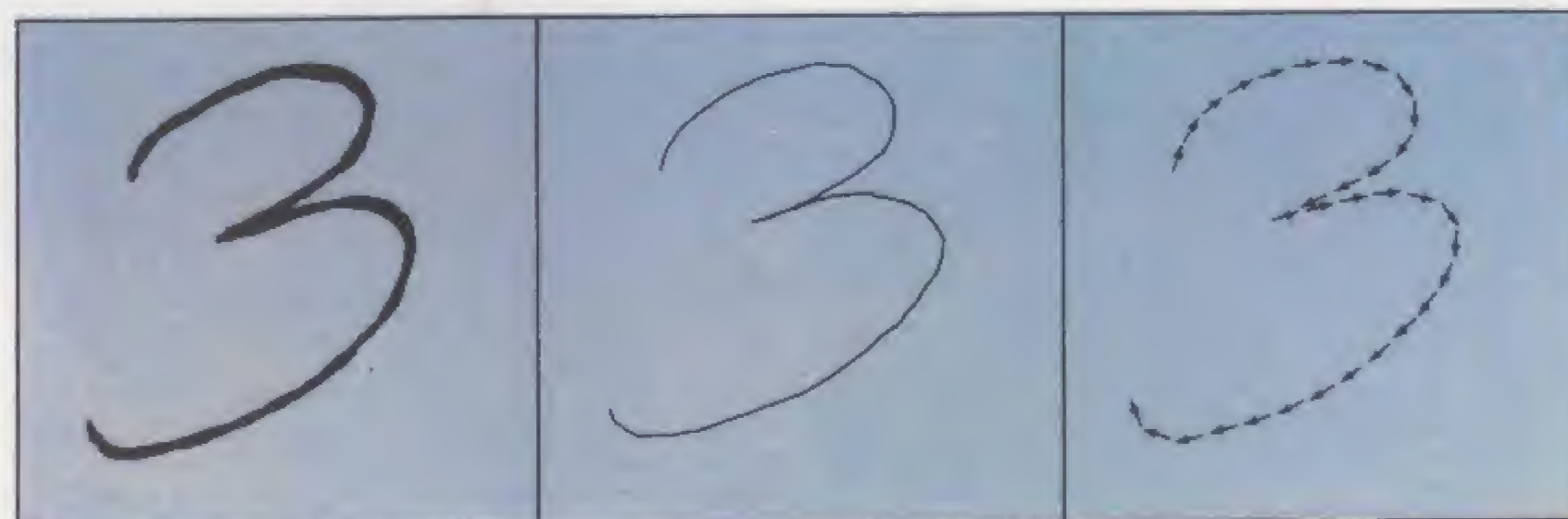
Nuevas aplicaciones para el reconocimiento óptico de caracteres Los sistemas de reconocimiento óptico de caracteres son muy útiles en las empresas comerciales, en los centros de investigación que tienen que transferir un gran número de textos y documentos escritos a la memoria de ordenadores y en fotocomposición. Otra aplicación que parece tener un futuro prometedor es la lectura de textos para ciegos, ya que un lector óptico de caracteres se puede utilizar para transformar directamente un texto escrito en caracteres normales en un texto en *braille*. De esta forma se reduce mucho el coste de producción de libros y material escrito para invidentes. Además, unido a un sofisticado sintetizador vocal (un dispositivo con ordenador capaz de producir automáticamente sonidos del lenguaje vocal humano), los lectores de caracteres se pueden utilizar para "leer" en "voz alta". Estas máquinas ya se han experimentado y su aparición es un signo de esperanza, un ejemplo de las posibilidades de la tecnología aplicada a los ordenadores en los servicios sociales.

Véase Cajero automático; Fotocomposición; Ordenador; Tarjeta de crédito

A la derecha, el sistema de reconocimiento con el método sintáctico. Lo primero que se hace es adelgazar el carácter hasta una línea muy fina, que después se subdivide en muchas flechitas tangentes a la línea. Las flechitas se asocian a una letra del alfabeto, dependiendo de su orientación. Se cuentan las flechas a partir de un extremo de la línea que representa el carácter y se construye una secuencia de letras, cada una de ellas con un exponente que indica el número de flechitas con la misma orientación. Se obtiene así un "monomio", por analogía con los del álgebra, que representa el dibujo del carácter. Un carácter con el mismo monomio, o con uno casi idéntico, se atribuye al mismo símbolo. Este método es tan eficaz que puede "leer" hasta las letras escritas a mano.



$g^2h^3a^2b^2cd^3h^3a^2b^4cd^7ef$



$fgh^5a^b c d^4h^5a^b c^3d^4e$

Leguminosas



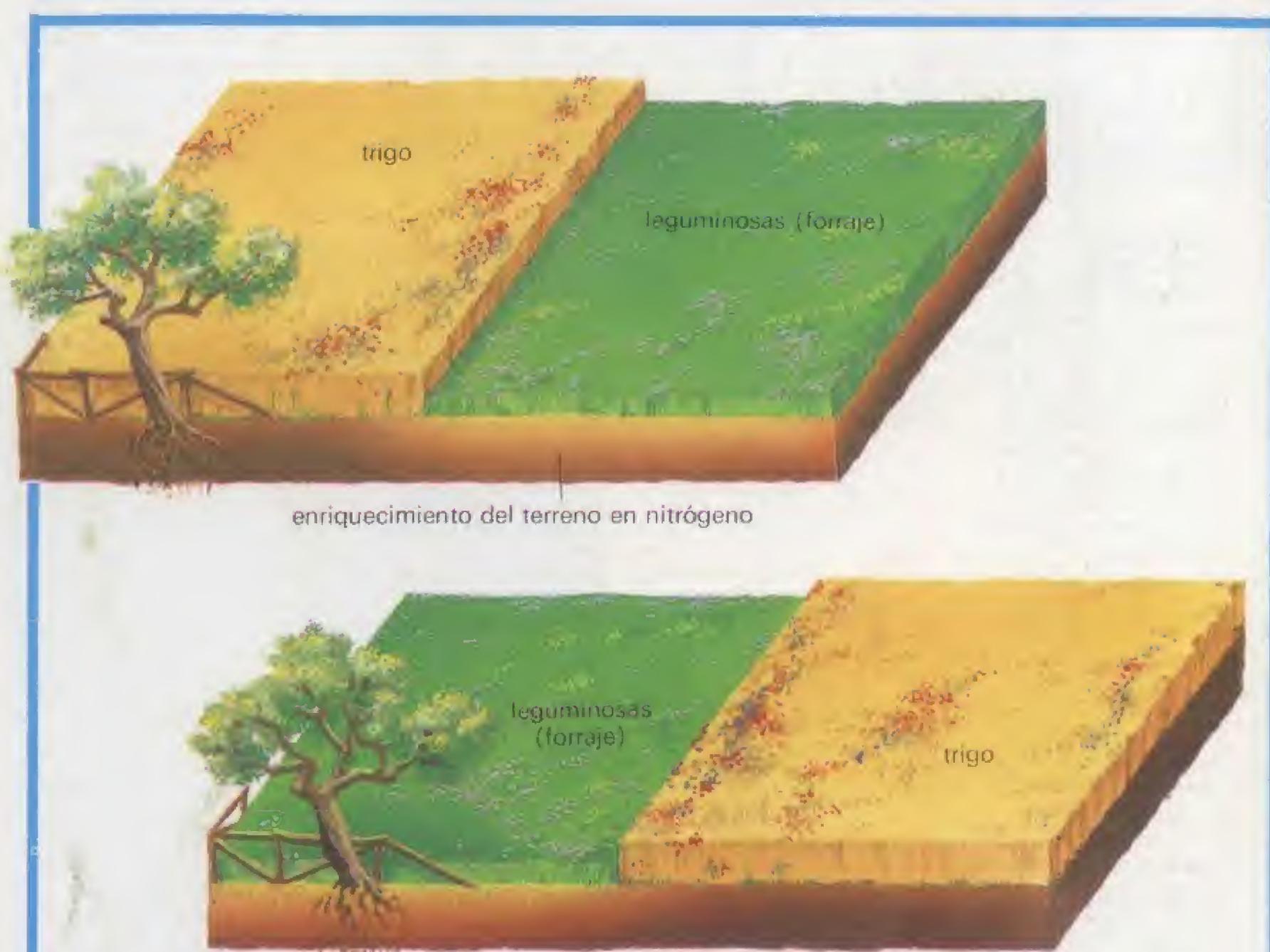
Por el nombre de *leguminosas* se conoce a una familia de plantas cuya característica principal es el fruto en legumbre, esto es, una vaina compuesta por dos valvas que se abren simultáneamente por la sutura ventral y por el nervio medio dejando al descubierto las semillas.

Las flores de estas plantas son también muy características; están compuestas por cinco pétalos: el pétalo superior forma un ancho estandarte, los dos pétalos laterales forman "alas", y los dos inferiores, semisoldados, una quilla. Las hojas son, en general, pinnadas, es decir, divididas en un número par o impar de folíolos.

A esta familia pertenecen especies tan importantes para la alimentación humana y animal como las lentejas, judías, garbanzos, habas, guisantes, soja, alfalfa, etc. El interés de las semillas reside en su alto contenido proteínico, que en la semilla madura oscila entre el 20% y el 25%; algunas especies superan este porcentaje, como los altramuces (el altramuz amarillo supera el 40%) o algunas variedades de soja cuyos granos contienen hasta un 44% de proteínas.

Hay que tener en cuenta, además, que las leguminosas todavía no han sido objeto de un proceso continuado de mejora genética, como ha ocurrido con los cereales, por lo que cabría esperar porcentajes de proteínas bastante superiores a los actuales si se sometieran a dichos procesos.

En algunas especies de leguminosas el máximo interés industrial reside en su



Las legumbres o vainas son los frutos que dan el nombre a la familia de las leguminosas, rica en especies. En la figura de arriba se ilustran algunos ejemplos. Las vainas están conformadas por valvas divididas en celdillas que conservan los granos, de número variable, y cuando maduran pueden abrirse a lo largo de la línea longitudinal o no abrirse de hecho. Una

característica muy importante de las leguminosas, sobre todo de las herbáceas, es la relación simbiótica que sus raíces tienen con bacterias del género *Rhizobium*, capaces de asimilar el nitrógeno atmosférico y convertirlo en nitratos y nitritos, enriqueciendo la planta y dándole la posibilidad de formar sustancias nitrogenadas.

Las legumbres han sido, y continúan siendo, utilizadas para la acohombradura, técnica agrícola para enriquecer el terreno con sustancias orgánicas y nitrógeno consistente en enterrar plantas herbáceas en plena floración. Las leguminosas son también utilizadas en

forma de cultivos de rotación (como ilustra el esquema de la página anterior). Se alternan cultivos de gramíneas (trigo, por ejemplo) que tienden a empobrecer el terreno, con leguminosas forrajeras, de las que se aprovecha así su capacidad para enriquecer con nitrógeno el terreno.

Las legumbres tienen una gran importancia para la alimentación, dado su alto contenido en proteínas (que está en torno al 20-25% de su peso) en comparación con el de los cereales (del 7% al 13%), en sales minerales y en vitaminas. Por ello, se cultivan a gran escala en muchos países. Los

cacahuets y la soja tienen además un alto contenido en aceite. En la tabla de abajo se indica la media anual de cosecha en los años 1973-75 en los principales países productores. Abajo, mata de *Vulneraria*, cuyo fruto es una legumbre que al madurar se pone hinchada y vesiculosa.

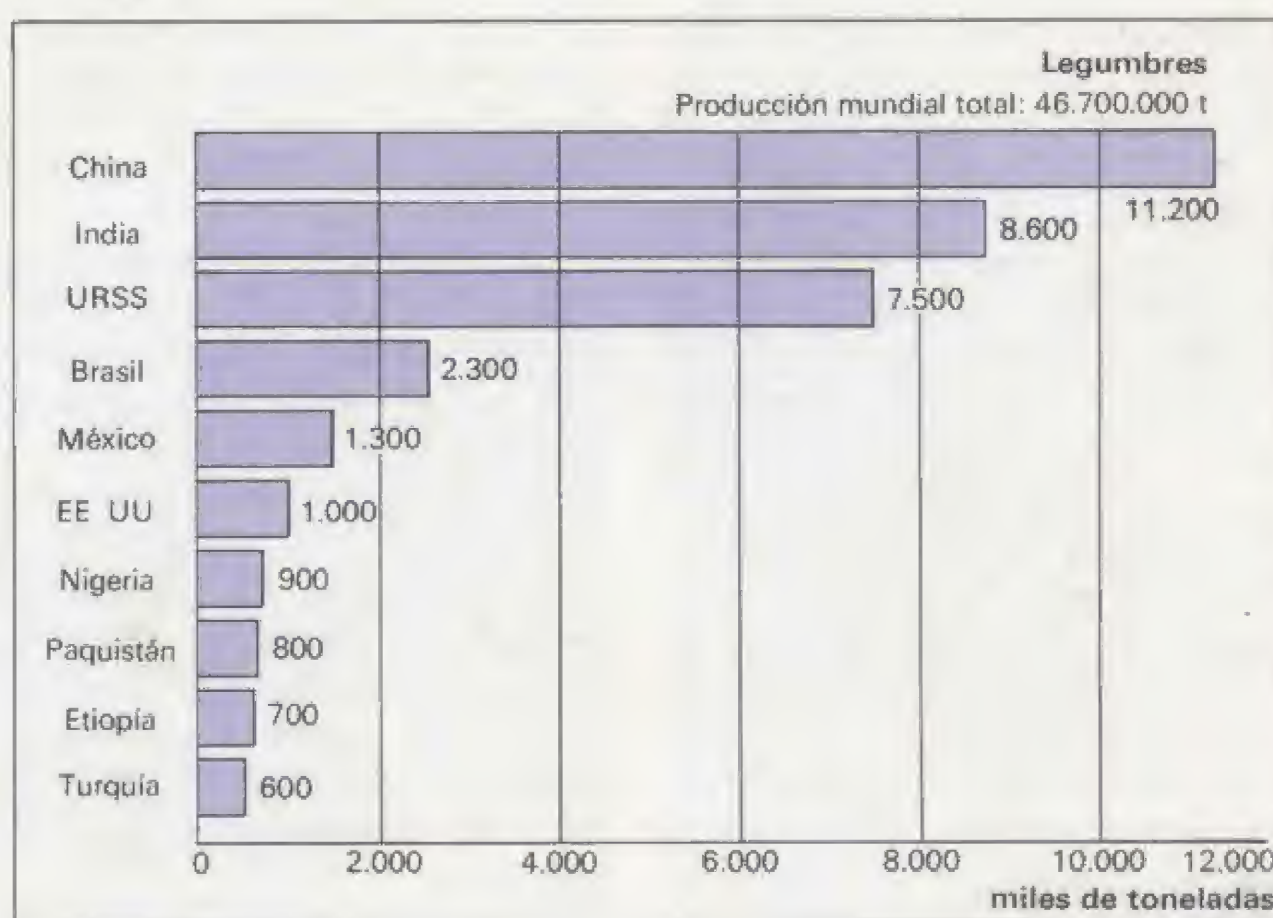
genética o tratamientos industriales, pero hasta el momento parece ser que sólo se han aplicado estos métodos en el caso de la soja.

El hecho de que el cultivo de leguminosas enriquece el terreno ha sido conocido desde antiguo, por lo que se alternaban los cultivos de estas plantas con los de otras especies. Sin embargo, hasta la mitad del siglo XIX no se supo que la acción fertilizante de las leguminosas se de-

contenido graso. Este oscila alrededor del 1%, aunque algunas especies de altramuza sobrepasan el 7%, porcentaje que hace rentable su industrialización; especies como la soja y el cacahuete son también utilizadas principalmente por su contenido graso.

Las leguminosas también tienen utilidad como forraje, abono verde, henificado, etcétera.

Sin embargo, el gran inconveniente de estas plantas es la presencia de tóxicos e inhibidores en diversas partes de las mismas, especialmente en el grano. La cocción y lavado suele eliminar casi todos los factores tóxicos, pero en la preparación de piensos compuestos no se puede emplear este método de destoxificación, por lo que el uso queda bastante limitado. El problema se podría resolver mediante la mejora



bía al aumento de nitrógeno en el suelo, producido por ciertas especies de bacterias del género *Rhizobium* que viven en simbiosis con las raíces de las leguminosas, en las que forman nudosidades. Estas bacterias asimilan el nitrógeno de la atmósfera y lo convierten en nitratos y nitritos, asimilables por las plantas. Desde éstas, los compuestos nitrogenados pasan también al suelo, que queda enriquecido. Esta característica beneficia no sólo a las leguminosas sino también a las gramíneas y a otras familias de plantas que crecen cerca.

La asociación mencionada es esencial en los grandes prados naturales y artificiales en los que se basa la ganadería mundial.

La crisis energética de los años setenta, con el consiguiente encarecimiento de los fertilizantes está haciendo que las leguminosas sean empleadas cada vez más como sustitutivos válidos de los abonos nitrogenados.

Véase **Agricultura; Alimentación y nutrición; Alimentos; Fertilizantes**

Lenguaje y lenguas

Al decir que los animales, como los insectos por ejemplo, son capaces de comunicarse entre sí, no estamos afirmando que tengan un lenguaje, aun cuando los mensajes que se transmiten son a veces especialmente precisos y detallados. Las abejas, por ejemplo, pueden señalar al enjambre en qué dirección hay que volar para conseguir polen, la distancia aproximada que hay que recorrer y la cantidad de polen que van a encontrar. El mensaje se transmite por medio de unos movimientos especiales, una especie de danza, y en cierta medida se puede comparar con un lenguaje, puesto que no está restringido a unos límites de tiempo y espacio (es decir, que puede comunicar informaciones acerca de cosas no inmediatas ni actuales). Pero hay ciertas restricciones que obligan a esta y otras formas de comunicación entre los animales a un decidido monolingüismo. No se puede decir, por ejemplo, que esos mensajes sean voluntarios, como ocurre con el lenguaje. La comunicación animal es instintiva y se emplea para transmitir mensajes que identifican a la especie y al sexo para el apareamiento, que indican regiones territoriales o que establecen la superioridad en la jerarquía del grupo. Los hombres, sin duda, adoptan sistemas de comunicación muy similares, pero generalmente incorporados al lenguaje. Un puño cerrado, un entrecejo fruncido o el pícaro guiño de un ojo son gestos que sirven para comunicar mensajes.

El lenguaje no es un medio de comunicación instintivo y tiene unas características que sólo los hombres pueden aprender. Se trata de un sistema complejo de

símbolos expresados de forma oral y escrita, utilizado por el hombre de acuerdo con unas reglas tácitamente adquiridas, con los cuales se pueden emitir un número prácticamente infinito de mensajes, en lugar de la limitada cantidad de mensajes que encontramos en la comunicación. El lenguaje también puede comunicar la idea de desplazamiento, de tiempo y espacio, lo que explica que el hombre pueda tener historia, pueda llegar a conocer mentalmente lugares en los que no ha estado nunca o vivir como propias experiencias en las que no ha participado jamás, así como comunicar mensajes sobre cuestiones que no tienen entidad física o sensorial, como puede ser una invención de la fantasía o una idea abstracta.

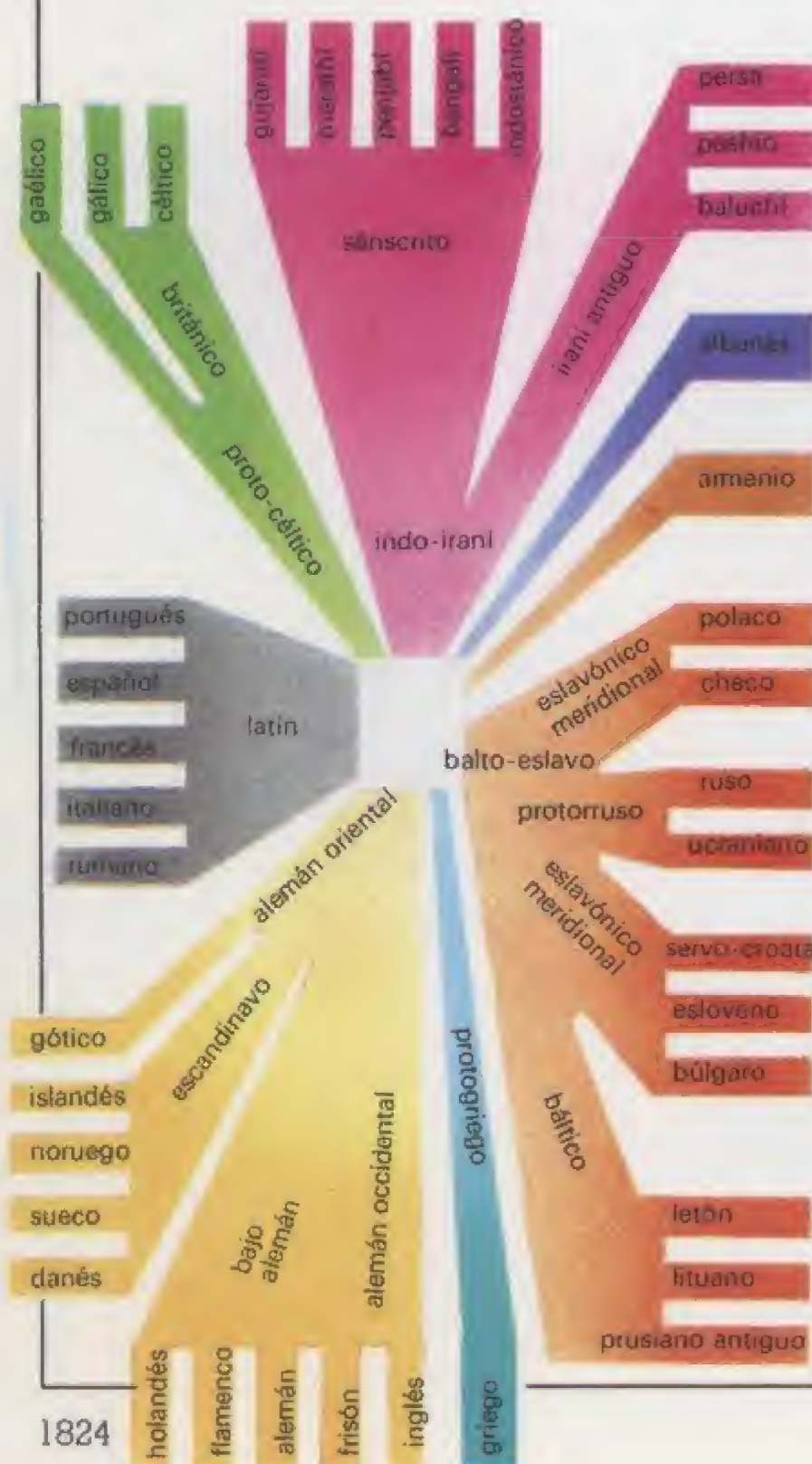
Cómo se adquiere el lenguaje Una de las maravillas del lenguaje es que se desarrolla en el hombre rápidamente y sin ningún aprendizaje programado. Esto no significa que los niños no lo tengan que aprender, pero se trata de un aprendizaje que hacen por sí mismos. Un primer paso hacia la adquisición del lenguaje es el desarrollo de las capacidades vocales. Todos los niños "juegan" emitiendo sonidos y con sus propios balbuceos y chapurreos. De esta forma descubren el repertorio de sonidos al alcance de los seres humanos.

Los niños normales (es decir, los que no tienen lesiones cerebrales significativas ni son sordomudos) escuchan los sonidos que emiten ellos mismos, y sobre todo los que emiten los demás (del estudio de estos sonidos se ocupa la Fonética). A base de escuchar, los niños pueden distinguir las características de los sonidos e imitar los de sus padres. Si no oye bien, el niño tendrá dificultades para aprender a hablar.

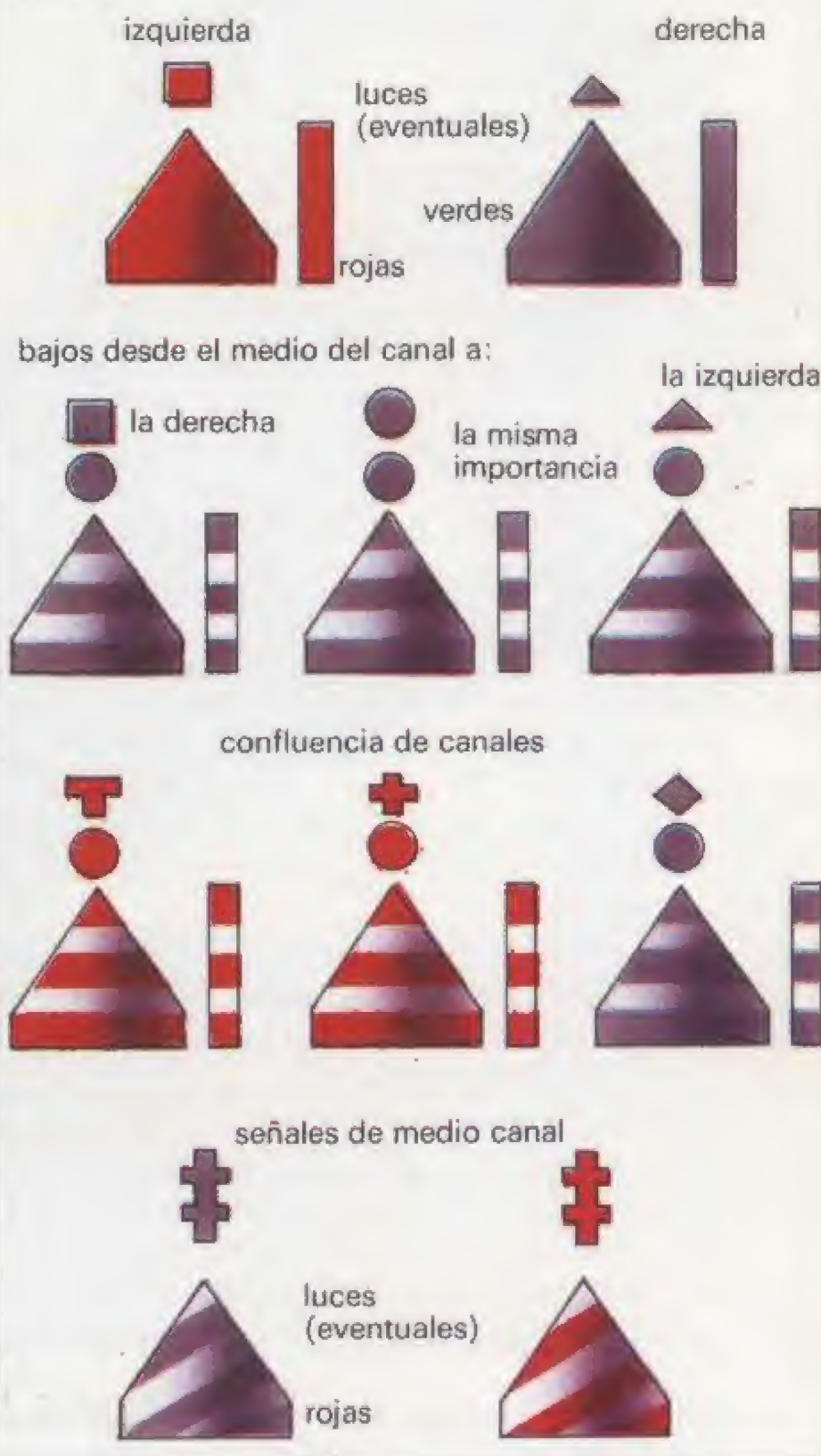
El niño no puede distinguir al principio los contrastes sonoros en los que se basa el lenguaje. Pero partiendo de una serie inicial muy reducida de sonidos, son capaces de aprender cualquier lengua. Con el paso del tiempo se ejercitan sólo con los sonidos que oyen, que por lo general son los del lenguaje de las personas que mantienen con ellos una relación física y afectiva más intensa. Luego, los niños van cambiando los sonidos y, a base de intonaciones, van formando las palabras que inicialmente se refieren sólo a los objetos y seres inmediatos. Gracias a cierta capacidad de abstracción, los niños son capaces también de interpretar las palabras como símbolos de los objetos, y su mundo se empieza a ampliar cuando comprenden y repiten palabras que se refieren a cosas que no están a la vista. El primer desarrollo mental es por ello prácticamente paralelo al lingüístico.

La mayor parte de las lenguas vivas pueden agruparse en troncos,

procediendo cada uno de ellos de una lengua primitiva, en ocasiones desconocida.



sistema lateral para pasos y canales, al entrar dejar a:



Sistema italiano para señalar rutas, canales y zonas de mar en las cuales la ruta ha sido bien definida. Los signos de color rojo o con rayas blancas y rojas tienen

que estar siempre a la izquierda del que entra, procedente de mar abierto. Las señales negras o con rayas blancas y negras tienen que estar a la derecha del que entra.

El conjunto de las palabras adquiridas se llama **léxico** o **vocabulario**. Para el niño el paso más importante es sobre todo la asimilación de ciertas reglas sintácticas, reglas que determinan el orden en el que se pueden colocar las palabras según su función. El conocimiento no necesariamente consciente de la gramática hace que el lenguaje sea un sistema de infinitas posibilidades expresivas. Los que sostienen que los niños aprenden a componer las frases únicamente imitando a los mayores, no pueden explicar el hecho de que un niño, o cualquier persona, pueda inventar frases que nadie había pronunciado antes.

La comunidad hablante La lengua es producto de una comunidad hablante, y cada comunidad tiene un lenguaje con semejanzas y diferencias con las lenguas de las demás comunidades. Los significados de las palabras son sobre todo el producto de un acuerdo o convención entre los miembros de esas comunidades. Los que hablan francés, inglés, español o alemán, por ejemplo, se han puesto tácitamente de acuerdo para usar respectivamente las

palabras *chien*, *dog*, *perro* y *hund* para referirse al mismo animal. No hay nada intrínseco en las palabras que se basan en esta referencia, se trata de sonidos arbitrarios cuyo empleo sólo depende de un común acuerdo y de las reglas de la lengua.

Cuando estudiamos la evolución de una lengua a través del tiempo, descubrimos muchas veces que algunas palabras usadas hace cien años tienen en la actualidad un significado completamente distinto. Esto sucede porque ha cambiado la comunidad, y con ella también lo ha hecho el lenguaje.

A esto hay que añadir el hecho de que cada individuo tiene una forma personal de expresarse, que tiene su origen en su primer ambiente lingüístico, que por lo general es la familia. A veces es toda una región o comarca la que posee una forma específica y diferenciada de utilizar un idioma. Esa forma singular puede llegar a constituir un *dialecto*. Los dialectos son muy parecidos a sus lenguas de origen, pero suelen variar en el vocabulario, y a veces también en las reglas gramaticales.

Historia del lenguaje Sólo estamos en condiciones de hacer meras especulaciones acerca del origen del lenguaje. Como es natural, abundan las teorías de todo tipo, desde las que se apoyan en la imitación de los sonidos animales o naturales (onomatopeya), hasta las que sostienen que el lenguaje es una evolución gradual de los "gruñidos", pasando por otras que entienden que la capacidad lingüística tiene que haberse debido a una intervención sobrenatural sobre la especie humana. Nadie sabe ni dónde, ni cómo, ni cuándo apareció el lenguaje propiamente dicho.

El descubrimiento de un sistema de lenguas indo-europeas procedentes de la India y Afganistán, que se difundieron por Europa, avivó las esperanzas de poder descubrir el origen del lenguaje, pero después se han descubierto sistemas parecidos por todo el planeta. Los estudios acerca de la evolución sugieren que se dio un paso importante cuando los primeros hombres se alzaron en posición erecta, haciendo posible, por vez primera, la articulación del lenguaje gracias a un control más libre de la espiración. Pero los datos más precisos los proporcionan los testimonios de las culturas primitivas. Lenguaje y cultura están estrechamente relacionados, y probablemente crecieron y se desarrollaron a un tiempo. Allí donde se encuentran testimonios de cultura, existía probablemente un lenguaje. El acueducto construido hace 27.000 años en Mesopotamia y los yacimientos megalíticos de Stonehenge, que datan de hace 17.000 años, son el testimonio del esfuerzo y el trabajo de un grupo que seguramente se comunicaba por medio de un lenguaje.

El lenguaje escrito, que se desarrolló a partir del hablado, apareció hace unos 4.000 años. Su forma más antigua era la logografía, a base de dibujos y diagramas. Los fenicios desarrollaron en seguida la forma escrita, y a partir de ella los antiguos griegos elaboraron el *alfabeto*.

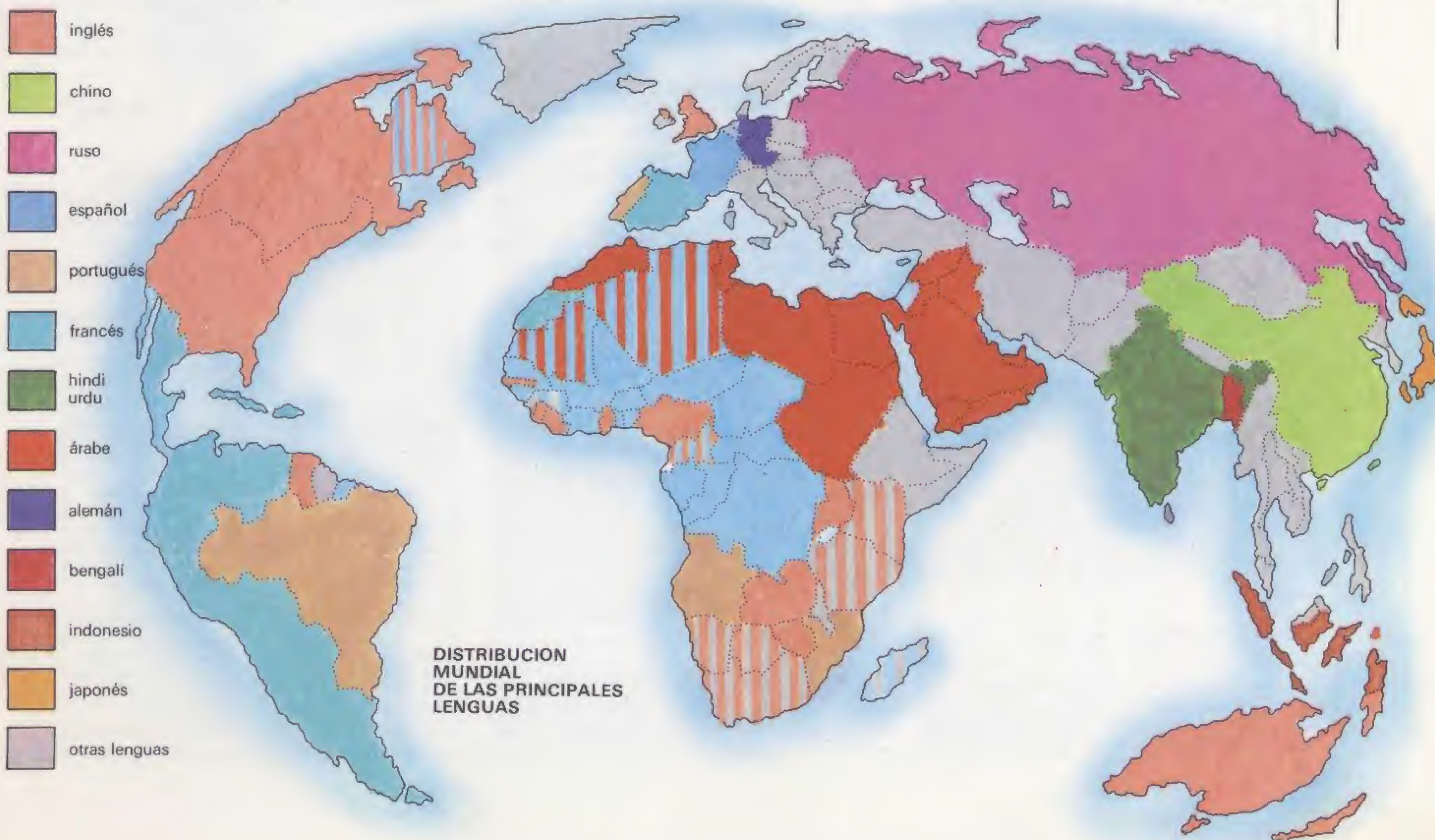
La lengua hablada recurre a los medios expresivos paralingüísticos, como la inflexión de la voz, los movimientos faciales y la gesticulación empleada para subrayar un significado. El discurso escrito suele ser más largo, precisamente para compensar la ausencia de estos recursos paralingüísticos.

Antiguamente, el estudio del lenguaje no era más que un capítulo de la historia y la filosofía. Los estudiantes y profesores de entonces se lamentaban de la decadencia de la lengua, y rechazaban la idea de que sus cambios fueran el resultado normal del uso. En los países europeos, por ejemplo, el latín y el griego clásico se consideraban las lenguas por excelencia, y durante varios siglos sirvieron de base para todas las lenguas escritas, a pesar de que la mayoría de la gente no las hablaba desde hacía tiempo. La lengua hablada vulgar se consideraba inferior.

El estudio moderno de la lengua es muy distinto. Se basa principalmente en las teorías del lingüista suizo Ferdinand de Saussure; los modernos lingüistas afirman que la lengua, dado que cambia con el paso del tiempo, sólo puede ser estudiada como una estructura situada en un lugar y un período determinados. De esta forma, los modernos lingüistas describen el desarrollo de una lengua en base a unas leyes preestablecidas.

Una lengua pertenece al que la habla, y actúa según las reglas de cada una de las comunidades que la usan. Cuando surgen cuestiones de *propiedad* de lenguaje, se suele hacer referencia a las condiciones sociales de una región, y no a las lingüísticas. Los valores culturales, ambientales y tradicionales, en efecto, tienen una importancia preponderante en la formación del lenguaje, ya sea a nivel individual, de grupos y poblaciones.

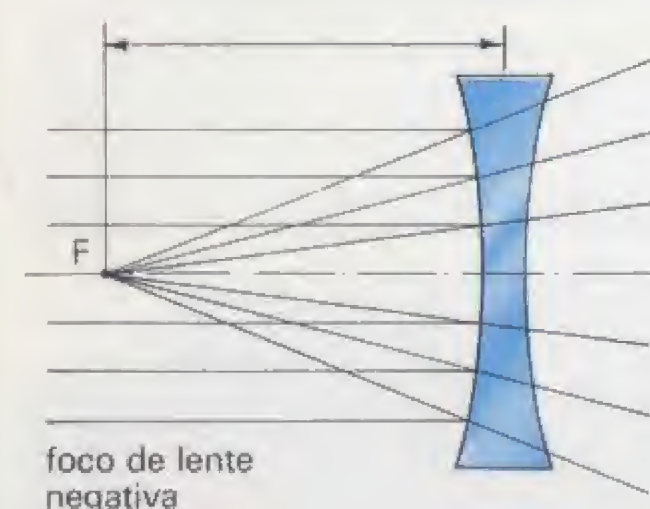
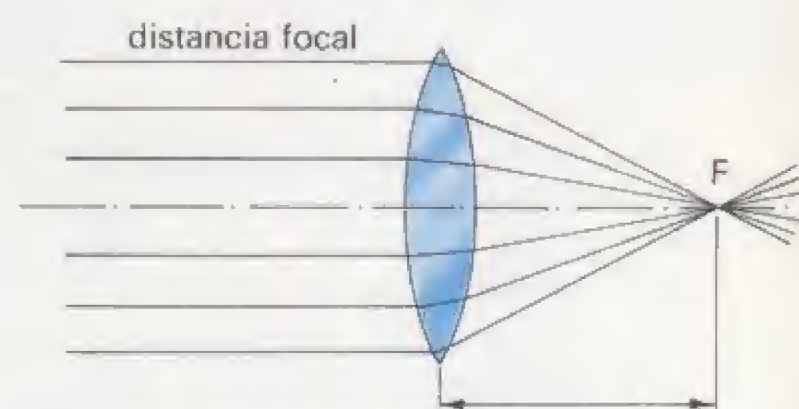
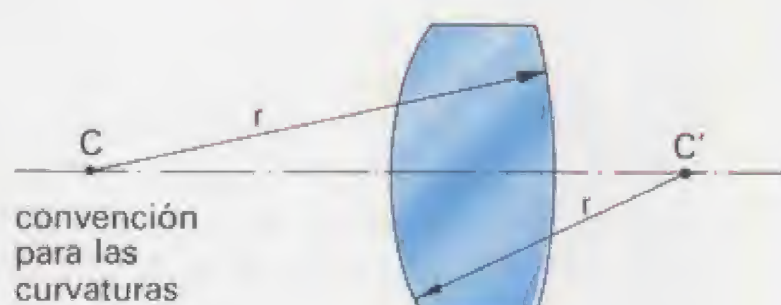
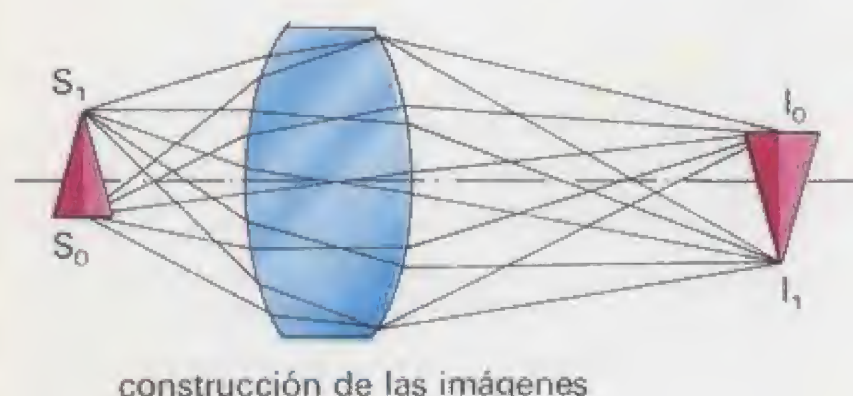
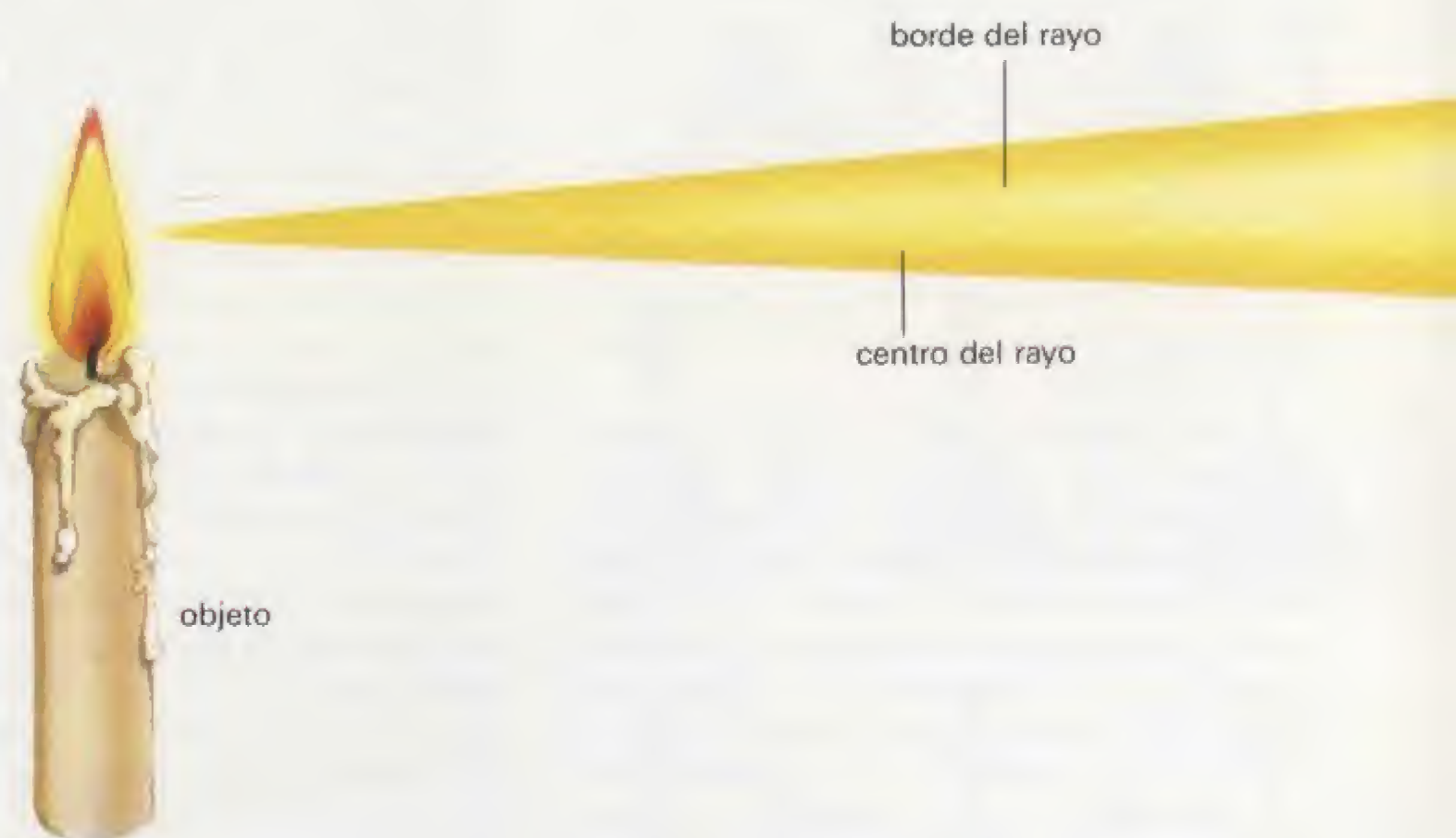
Véase **Animal, aprendizaje; Organos de fonación**



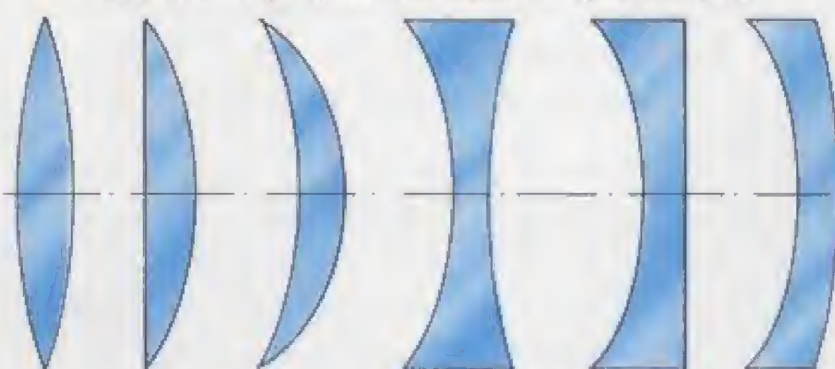
Lente

Nadie podría decir en nuestros días qué forma tenía la esmeralda que utilizaba el emperador Nerón para ver mejor, pero se puede suponer que tenía dos caras convexas, con forma de esfera; es decir, era una lente, la primera de la que históricamente se tienen noticias. El arte de dar forma esférica a las caras de pequeños discos de vidrio para mejorar la visión, fabricando gafas rudimentarias, empezó en la Edad Media. Esto se ha deducido a partir de un código manuscrito donde una miniatura en la cabecera de una página reproduce la imagen de un monje copista que lleva gafas: el texto es del siglo XIII.

Poco a poco el arte de fabricar lentes se fue perfeccionando cada vez más, aunque siempre iba destinado a la fabricación de gafas. Sin embargo, en el siglo XVII se pensó ya en la posibilidad de utilizar las lentes para potenciar la visión del hombre, además del uso ya conocido de co-



secciones de las lentes con caras esféricas



regirla. Galileo fue el protagonista de este desarrollo: introdujo el telescopio, que ya estaba inventado por los ópticos holandeses —que lo consideraban como un juguete—, para la investigación astronómica, dando comienzo la era de la Astronomía moderna. Además, Galileo inventó el microscopio compuesto: la fabricación de lentes destinadas a estos nuevos instrumentos llevó al perfeccionamiento de las técnicas de producción, tanto del vidrio como de la forma de las lentes, que debían ser muy perfectas.

Actualmente, la fabricación de microscopios, telescopios, espectroscopios, máquinas fotográficas, láseres y otros aparatos ópticos ha hecho que la producción de lentes alcance la máxima perfección posible.

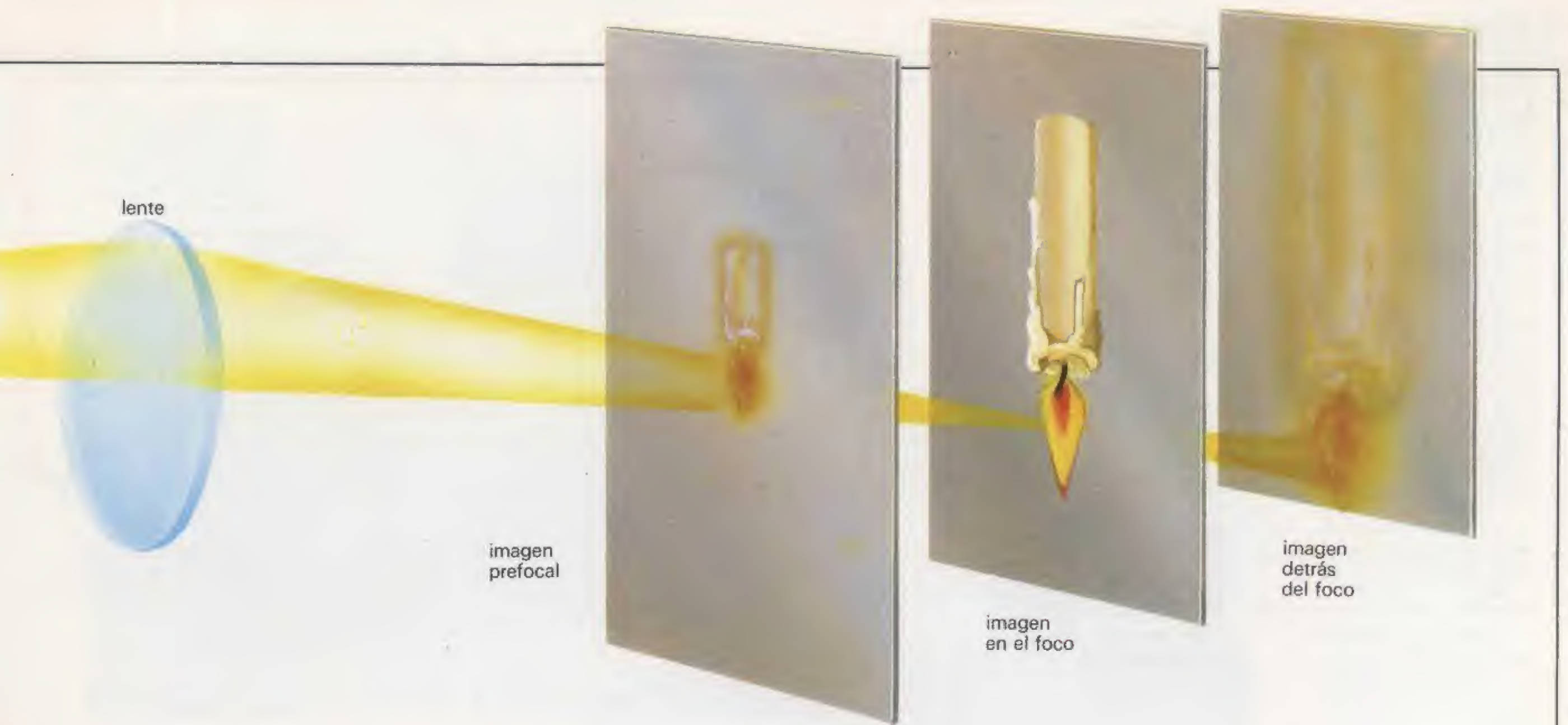
Cómo "funcionan" las lentes Existen muchas formas de lentes; sin embargo, para comprender su funcionamiento consideraremos el tipo más conocido y simple: la lente en forma de disco limitado por

dos caras con una curvatura esférica. Si imaginamos un corte a lo largo de su diámetro, veremos una sección con el borde formado por dos arcos de circunferencia y, con una cierta aproximación, podemos decir que es como si tuviéramos la sección de dos prismas de vidrio. Se puede ver fácilmente que al hacer incidir en la lente un haz de rayos perpendiculares a su plano se obtienen los siguientes efectos: el rayo que pasa por el eje, es decir, el que pasa por el centro de la lente, no experimenta cambios y continúa recto; en cambio, todos aquellos que alcanzan la lente fuera del eje se desvían hacia él. Este es el efecto de convergencia en una lente, que por tener esta propiedad recibe el nombre de lente *convergente*, o *positiva*. Existen también lentes que hacen que los rayos diverjan, y reciben el nombre de *divergentes*, o *negativas*.

Propiedad fundamental de las lentes En el ejemplo visto anteriormente se ha introducido una simplificación: el decir que

Se ilustran aquí algunas de las formas de lente más comunes: de izquierda a derecha, lente esférica, que produce una imagen puntual invertida (I_0I_1) por refracción de los rayos que proceden de los puntos radiantes del objeto. En una lente (imagen siguiente) cualquier cara tiene un centro de curvatura C y un radio de curvatura r ; se define como *eje óptico* la recta que une los centros de curvatura de las dos caras. Se llaman *convergentes* (ilustración de la derecha) las lentes que hacen que un haz de rayos paralelos converja en un punto real F ; en el caso de lentes *convergentes* (primera ilustración de la izquierda, abajo), la prolongación de los rayos que salen de la

lente converge en un punto virtual F . El punto F , en los dos casos, se define como *foco* de la lente. La distancia existente entre el foco y la lente se llama *distancia focal*. Las ilustraciones del centro indican los distintos tipos de lentes esféricas: a partir de la izquierda, lente biconvexa, lente planoconvexa, lente biconcava, lente planocóncava y menisco divergente. En el caso de una lente gruesa, se tienen dos planos, perpendiculares al eje óptico, llamados *planos principales* y definidos respectivamente como *objeto* e *imagen*. En la última ilustración de la derecha se describen algunas propiedades de los planos principales: midiendo



la distancia x del objeto desde n y la x' resulta la relación $1/x + 1/x' = 1/f$, donde f es la distancia focal; f tiene relación con la curvatura de las caras de la lente y con el índice de refracción del material, y representa también la distancia entre n y el foco-imagen y entre n y el foco-objeto. En el caso de que el objeto esté formado por un segmento de longitud y ,

perpendicular al eje, su imagen está representada también por un segmento perpendicular al eje, de longitud y' , de forma que $y'/y = x'/x = G_d$, donde G_d representa el aumento transversal lineal. Las intersecciones de los planos principales P y P' con el eje óptico se llaman *puntos principales*. En la ilustración sobre estas líneas se representa cómo una

imagen puede aparecer más o menos clara dependiendo de la posición de la pantalla respecto a la lente. En el primer caso, la pantalla está situada antes del punto de encuentro de los rayos: la imagen no aparece nítida y se dice que está *desenfocada*. En el segundo caso, la pantalla está colocada exactamente en el punto de encuentro de los rayos: la imagen aparece nítida y se

dice que está *enfocada*. En el tercer caso, la pantalla está situada más allá del punto de encuentro de los rayos: la imagen vuelve a estar *desenfocada*. Debajo de estas líneas (hacia la izquierda), sección de una lente esférica y distintos tipos de lentes bifocales; en último lugar, sección diametral de una lente de Fresnel, empleada a menudo en los faros.

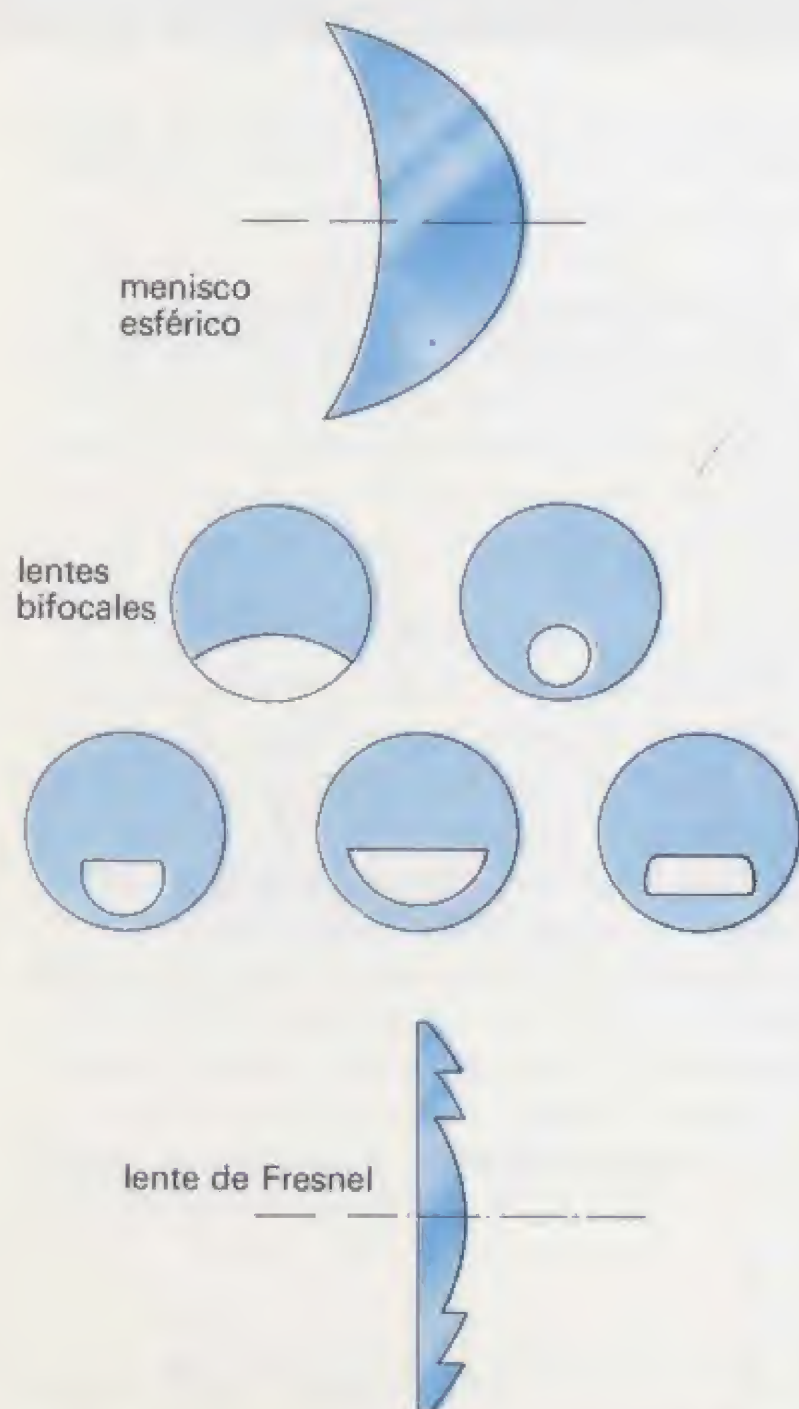
minar el grado de curvatura que han de tener las caras, es necesario hacer una serie de cálculos complejos.

Lentes y sistemas de lentes Una lente puede tener varias combinaciones de tipos de curvatura en sus dos caras: puede ser biconvexa, biconcava, planoconvexa, planocóncava, en menisco, etc. Cada una de esas lentes tiene ventajas e inconvenientes desde el punto de vista de la forma en que enfoca los rayos de luz, lo que las hace ser más o menos apropiadas a los distintos tipos de aplicaciones. Por ejemplo, el mejor tipo de lente para gafas es el de menisco, aunque a veces la moda impone lentes de tipo plano.

La forma ideal de lente sería aquella que enfocase siempre los rayos de luz, independientemente de la distancia al eje. Esto no se puede conseguir con superficies esféricas, por lo que hay que utilizar otros tipos de superficie. Estas son difíciles de fabricar, pero tienen la ventaja de que una sola lente sustituye el sistema múltiple que sería necesario para eliminar las aberraciones. Con las técnicas modernas de fabricación, se puede construir estas lentes sin excesivas complicaciones y se utilizan en instrumentos que han alcanzado actualmente gran difusión, como por ejemplo las máquinas fotográficas.

Los grandes espejos para telescopios, en los que la luz se refleja en vez de atravesarlos, se pueden considerar también lentes y, unidos a las lentes propiamente dichas, son los elementos de óptica que el hombre utiliza para explorar los astros desde la Tierra y desde el espacio.

Véase **Cámara fotográfica; Gafas; Lentes de contacto; Microscopio; Óptica; Telescopio y radiotelescopio; Telescopio para aficionados**

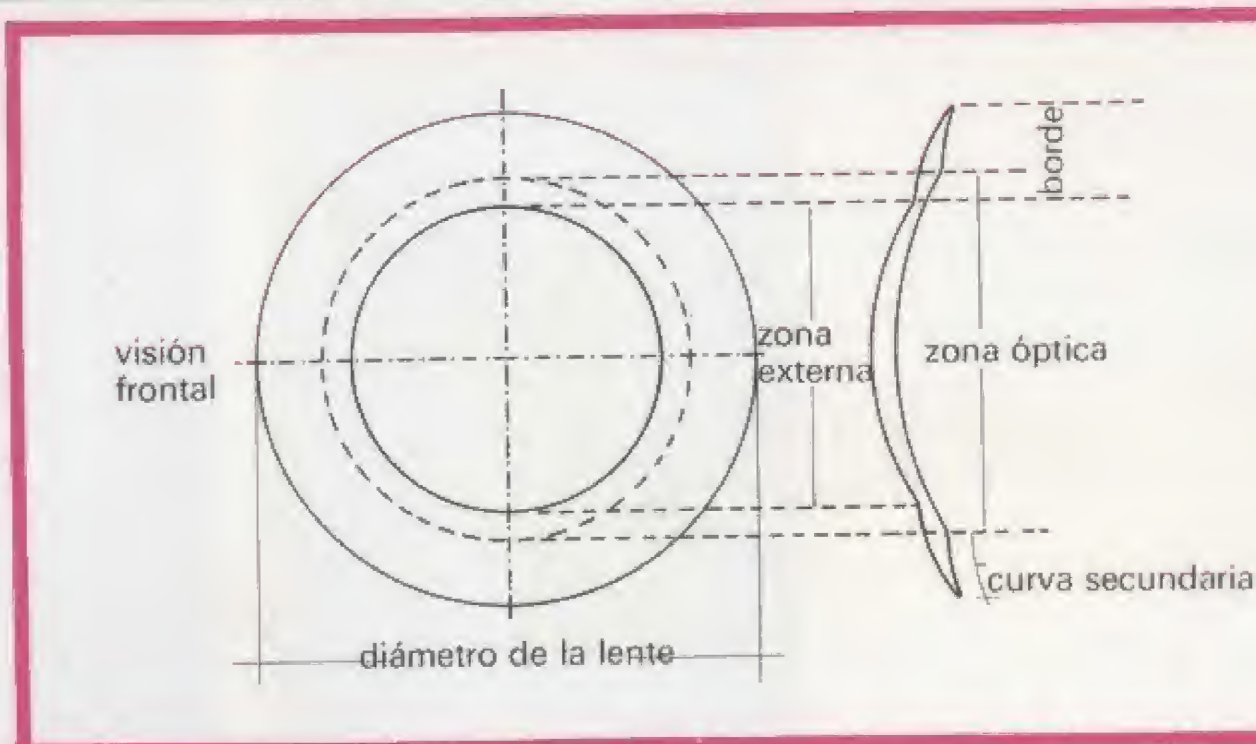


estaba formada por dos "prismas" y suponer que cada una de sus caras en sección era recta en vez de curva. Observando la sección real podemos hacer una aproximación mejor, pensando que la lente está formada por muchos trozos de "prisma", que van teniendo un ángulo mayor a medida que nos acercamos al borde. Esto hace que los "prismas" hagan converger más los rayos cuanto más alejados incidan del centro de la lente, de forma que todos los rayos van a converger en un punto único del eje de la lente, punto que recibe el nombre de *foco*.

Por tanto, las formas curvas circulares de la sección de la lente hacen que, debido al ángulo creciente del perfil, a medida que los rayos cruzan más cerca del borde, se desvíen más, de tal manera que si proceden de una fuente luminosa lejana se encuentren en un único punto. A pesar de todo, no ocurre exactamente esto, aunque sí sucede aproximadamente cuando la lente tiene las caras poco curvas y es poco gruesa. Cuando la lente es gruesa y con las caras muy curvas, es necesario colocar muchas lentes, una detrás de otra —cada una de ellas construida con un cristal diferente—, para conseguir que los rayos converjan en un punto. Para deter-

Lentes de contacto

Las primeras lentes de contacto fueron ideadas en 1887 por el médico suizo A. E. Fick. Las personas que en la actualidad utilizan las modernas lentes de contacto se asombrarían viendo los modelos desarrollados por Fick. Las lentes, que fueron fabricadas de manera que cubriesen el ojo por completo, eran de vidrio duro, y estaban cuidadosamente formadas para seguir la curvatura del globo ocular. Sin embargo, Fick no poseía ningún instrumento capaz de medir esta curvatura y casi todas las lentes debían ser adaptadas mediante un largo proceso lleno de ensayos y errores. Por otra parte, el ojo se secaba rápidamente bajo este vidrio impe-



Las lentes de contacto están fabricadas con resinas sintéticas, como el metilmetacrilato, o utilizando técnicas modernas para la polimerización de las siliconas. En el esquema, su estructura: puede apreciarse la zona óptica propiamente dicha y el borde o zona marginal, que permite a la lente permanecer en posición de contacto sobre la superficie de la córnea.



Desde su aparición en el mercado, hace ya algunos años, las lentes de contacto han cambiado el modo de ver de las personas miopes, restituyéndoles el placer de una visión natural. La lente de contacto,

efectivamente, elimina todos los defectos típicos de las lentes tradicionales, como el empequeñecimiento de la imagen, producido por la diferencia entre el foco de la lente y el foco del ojo, y la aberración esférica.



netrable que lo cubría, dado que no podía recibir el oxígeno del aire ni tampoco las lágrimas de los conductos lagrimales. Como consecuencia, los que utilizaban este tipo de lentes debían quitárselas a las pocas horas para recubrirlas con una disolución especial.

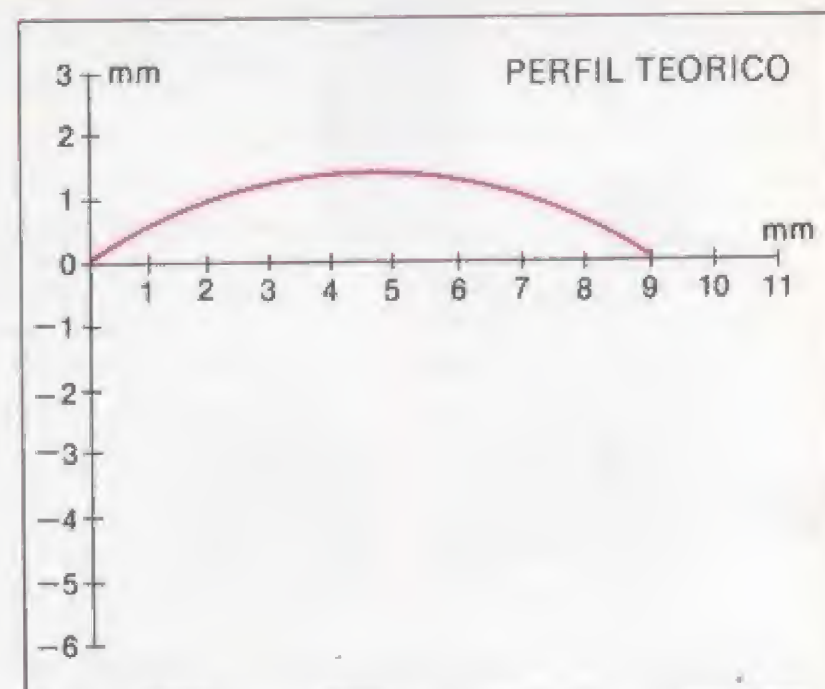
Cincuenta años más tarde, en 1938, el oftalmólogo Theodore Obrig elaboró las primeras lentes de contacto con plástico de metilmetacrilato, una sustancia transparente más frecuentemente conocida como *plexiglás* o *lucita*. Por otro lado, Obrig descubrió un método mejor para efectuar medidas en el ojo, lo que permitía una adaptación de las lentes con mayor rapidez. No obstante, sus lentes presionaban todavía de manera dolorosa sobre los delicados tejidos de la esclerótica. Esto, sumado al considerable coste que suponía la adquisición de un par de lentes de contacto, hacía pensar que su uso iba a estar restringido a unas pocas personas.

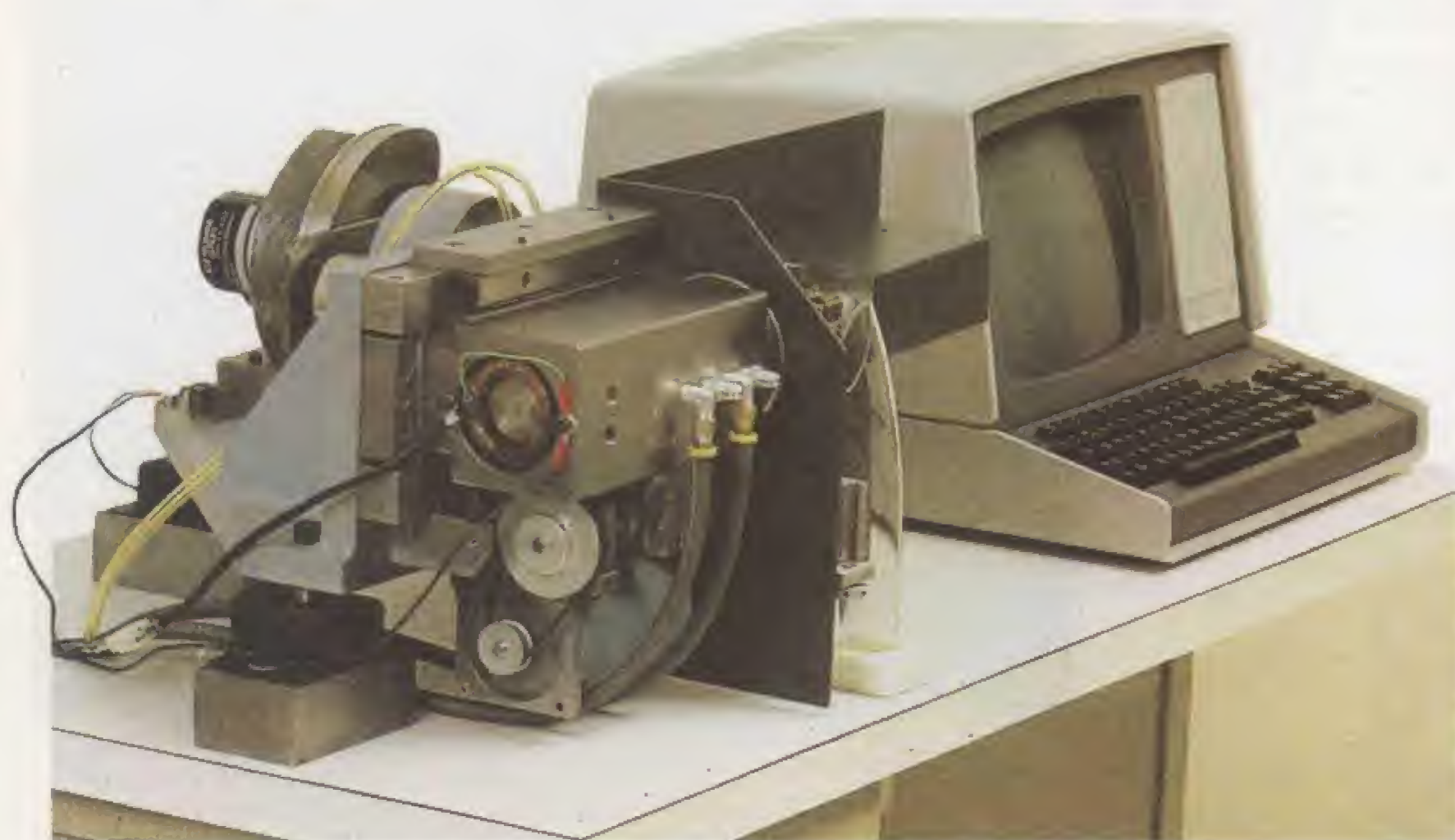
A comienzos de los años cincuenta, la introducción de las lentes de contacto corneales constituyó un notable paso adelante. Con un diámetro de 10 mm y un espesor máximo de 1 mm, este tipo de lentes

de contacto recubría solamente la córnea, es decir, la capa más externa del ojo que se encuentra por delante de la pupila y del iris. Estas lentes eran lo bastante ligeras como para "flotar" sobre una delgada capa de lágrimas, lo que permitía el paso de una cantidad suficiente de oxígeno, de manera que la persona que las utilizaba podía llevarlas sin dificultad durante un día entero. Sin embargo, las lentes eran todavía rígidas y comprimían el ojo. Se pensaba, además, que la utilización de estas lentes durante un período de muchos años podía ocasionar daños oculares.

Lentes blandas Dos décadas más tarde se introdujeron las lentes blandas. Este tipo de lentes de contacto está constituido por materiales flexibles que se adaptan a los contornos del ojo. La lente propiamente dicha está fabricada con plástico hidrófilo, esto es, que absorbe fácilmente el agua. El agua, a su vez, permite al oxígeno pasar a través de la lente, evitando de este modo que el ojo llegue a secarse completamente.

Los investigadores han desarrollado posteriormente ciertos tipos de lentes ca-





En esta página aparecen diversas imágenes que se refieren a la producción de lentes de contacto rígidas. A la izquierda, instrumentación de control del torno que confecciona la lente. Está compuesto por un microscopio unido a una telecámara y a un monitor de circuito cerrado, y permite la verificación de la exactitud del alineamiento del torno con respecto al cilindro de resina del que se fabricará la lente. En la segunda imagen podemos ver el soporte sobre el que se coloca el cilindro de resina de metilmetacrilato y la punta de elaboración. Finalmente, en la imagen de abajo vemos una fase de la elaboración, donde se puede apreciar el

conducto transparente de aspiración de los residuos eliminados durante la confección de la lente. La elaboración tiene lugar bajo vacío y está controlada por un pequeño ordenador. En los dos diagramas de la parte inferior de la página anterior vemos los perfiles ideales de una lente esférica y las variaciones que se tienen en la elaboración real de la lente con respecto a la curva calculada. Las lentes de contacto pueden ser rígidas, blandas —más adaptables al ojo, pero que se deterioran más fácilmente— y lentes permeables —que son las de introducción más reciente y que permiten un mayor intercambio de oxígeno—.



paces de absorber mayores cantidades de agua, con la posibilidad de ser utilizadas durante períodos de tiempo más prolongados.

A mediados de los años setenta un cierto número de casas comerciales anunció la creación de lentes de contacto que se podían llevar durante semanas. Se trata de las denominadas *lentes permanentes*, que se pueden retirar periódicamente para limpiarlas.

El más reciente desarrollo en este campo lo constituyen las lentes de contacto *bifocales*, es decir, que poseen dos focos, dispuestos de modo que la parte superior sirve para la visión lejana, y la inferior, para la cercana. La diferencia de peso entre la extremidad superior y la inferior hace que la lente permanezca siempre alineada correctamente sobre el ojo. El empleo de lentes bifocales hace innecesario el cambio continuo de gafas cuando se quiere contemplar objetos situados a diferente distancia.



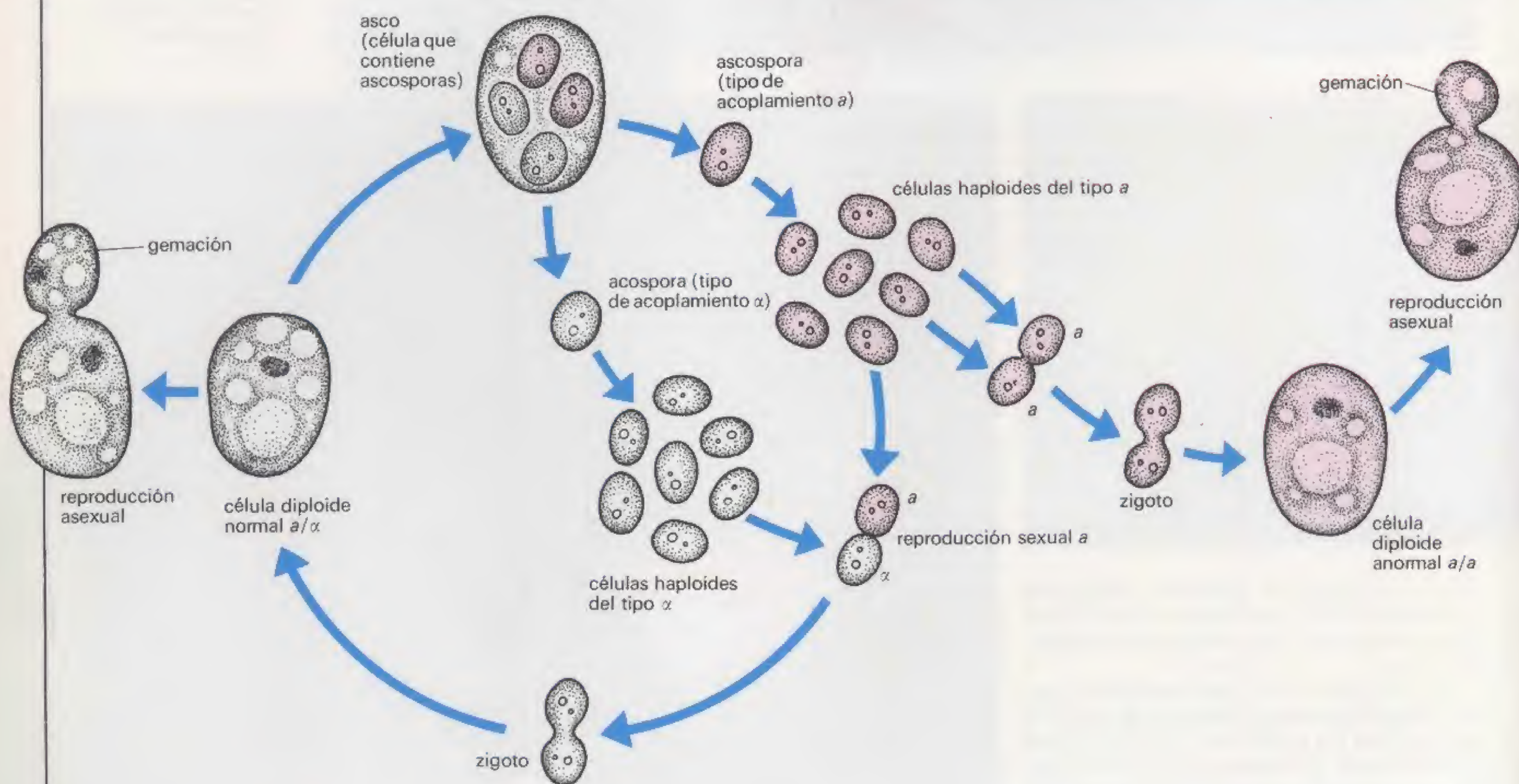
Levaduras

Las levaduras son organismos unicelulares microscópicos de cuya acción fermentadora depende la fabricación de muchos alimentos que tomamos a diario, como el pan, el vino y la cerveza.

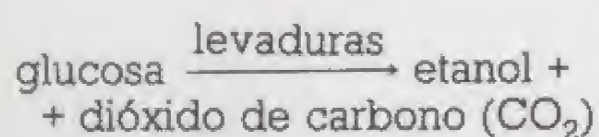
Contrariamente a lo que cabría pensar, las levaduras pertenecen al reino Vegetal (y en concreto a la división Hongos), como lo demuestra la composición de su pared celular a base de glucosa y manosa principalmente. Se encuentran generalmente en hábitats donde hay azúcares, tales como frutas, flores y cortezas de árboles. Algunas especies viven en simbiosis con animales, especialmente insectos, y unas pocas son patógenas de los animales o del hombre.

Las levaduras económicamente más importantes son las del pan y las de la cerveza, que son miembros del género *Saccharomyces*.

Abajo, esquema de la reproducción de las levaduras: una célula diploide normal (con dos series de cromosomas) origina ascos que contienen cuatro ascosporas haploides (con una sola serie de cromosomas). Estas pueden presentar dos tipos distintos de acoplamiento: *a*) por gemación se puede obtener otra célula haploide. El acoplamiento de células haploides *a/α* genera una célula diploide normal *a/α*. Se puede tener también células diploides anormales (*a/a, α/α*), que se reproducen sólo por vía asexual.



Para que las levaduras lleven a cabo el proceso de fermentación anaerobia (en ausencia de oxígeno) necesitan la glucosa como sustrato. La reacción es como sigue:



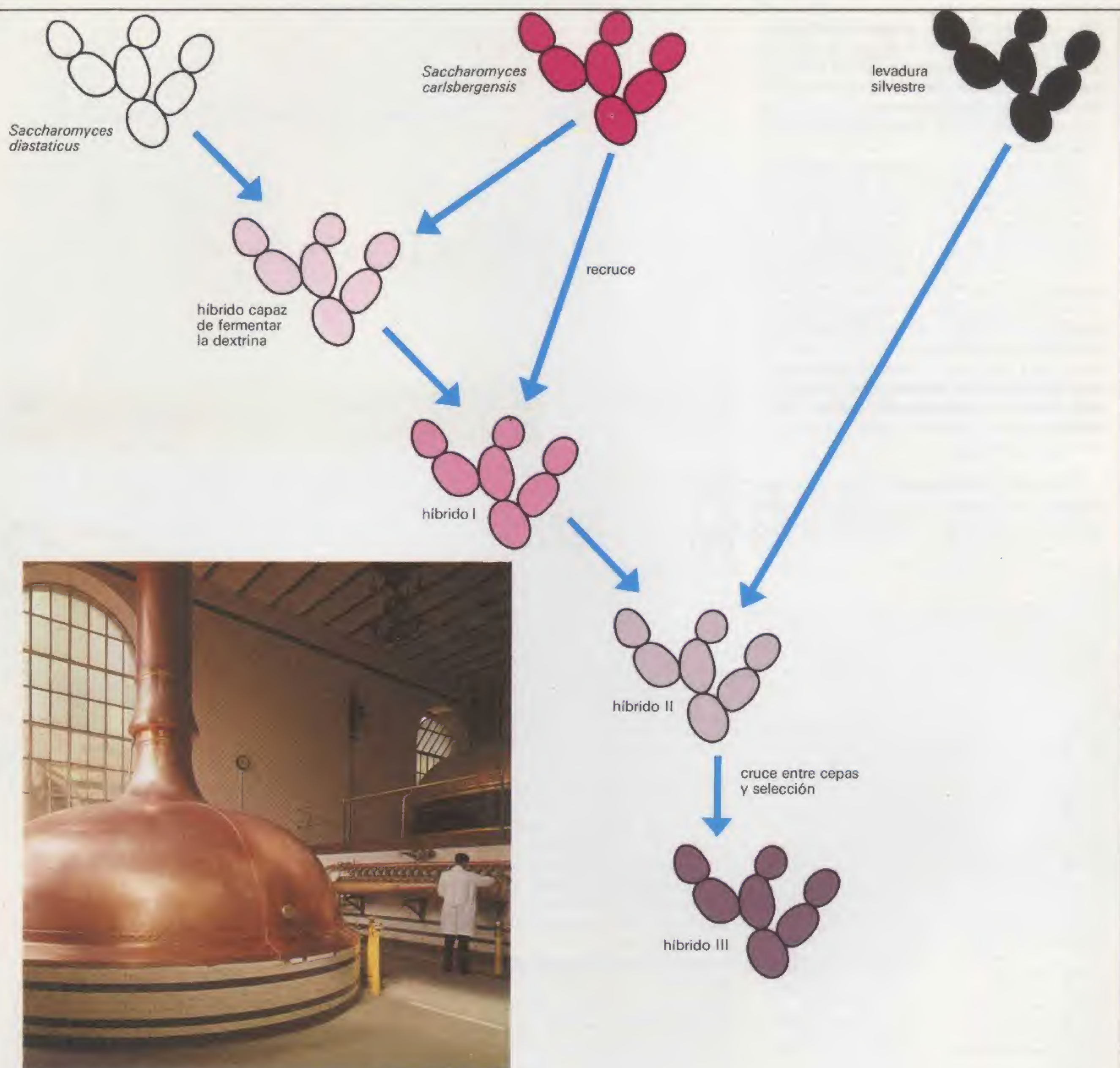
El etanol es el producto fundamental para la elaboración de bebidas alcohólicas, mientras que el CO_2 es el elemento esencial para que "suba" la masa del pan.

Reproducción Uno de los motivos por los que son tan útiles las levaduras es

por su elevada tasa de reproducción. Esta se lleva a cabo principalmente por vía asexual, mediante gemación o formación de yemas. En ella, una célula-madre forma una protuberancia a la que van a parar uno o varios núcleos y parte del protoplasma, con todos los orgánulos necesarios para formar una nueva célula. Gradualmente se forma nueva pared celular que divide las dos células, hasta que finalmente se separan cuando la célula-hija ha alcanzado el mismo tamaño de la célula progenitora. Todo el proceso puede durar de una a dos horas, lo que —teniendo en cuenta la gran cantidad de células— explica la rápida proliferación de las levaduras.

La reproducción por vía sexual es menos frecuente; dos células haploides opuestas se conjugan y dan un cigoto. Este experimenta meiosis (dos divisiones consecutivas) y da cuatro células haploides, o *ascosporas*, encerradas dentro de la pared celular original, ahora denominada *asco*.

Aplicaciones en tecnología Las levaduras desempeñan un papel importante en diversos procesos de carácter industrial. Además de la fabricación de ciertos alimentos, como dijimos antes, algunas levaduras (como *Candida utilis*) son empleadas para convertir productos de de-



secho, tales como leñas residuales y otras fuentes de hidratos de carbono y compuestos nitrogenados de bajo coste, en forrajes de gran valor que contienen proteínas y grasas. Algunas razas seleccionadas de *Candida lipolytica* transforman los componentes del petróleo.

Las levaduras se utilizan también en los procesos de depuración de aguas residuales. De ellas se obtienen también aminoácidos y ácidos nucleicos, así como vitaminas. Por último, son empleadas como sustrato alimenticio de algunas bacterias utilizadas en investigaciones científicas.

Véase Agua, depuración; Cerveza; Pan; Vino

Obtención de una cerveza apropiada para pacientes diabéticos: las diferentes hibridaciones que podemos ver aquí, ilustradas en el esquema sobre estas líneas, se hacen necesarias porque la levadura de cerveza *Saccharomyces carlsbergensis* transforma el 1,81 % del azúcar existente en el líquido en fermentación. Se ha hecho necesario, por tanto, encontrar una cepa de levadura capaz

de hacer fermentar la totalidad del azúcar para obtener así una cerveza apropiada para los diabéticos. A tal fin se han hecho cruces de numerosas especies de levaduras recombinando los genes que codifican para obtener los enzimas capaces de transformar los varios tipos de azúcar. Cruzando *Saccharomyces carlsbergensis* con *Saccharomyces diastaticus* se consigue un híbrido que

fermenta las dextrinas pero produce una cerveza de muy mala calidad. Recruzando este híbrido con *Saccharomyces carlsbergensis* se obtienen varios híbridos: el híbrido I transforma el 90% del azúcar y da una cerveza mediocre; cruzando este híbrido con levadura silvestre se obtiene el híbrido II, que transforma todo el azúcar presente. El híbrido III es mejor. En las fotos, producción industrial de cerveza.

Levantamiento topográfico

El hombre tiene la necesidad de describir y definir la Tierra en la que habita. La técnica empleada para llevar a cabo medidas precisas con gran exactitud, con el fin de determinar la configuración del terreno, se llama *levantamiento topográfico*.

El levantamiento topográfico se aplica en dos campos distintos: el de medir objetos o accidentes del terreno existentes (por ejemplo, un lago, una colina), determinar la posición en la que se encuentran y utilizar los datos para la elaboración de un mapa o un croquis, o, por el contrario, deslindar fincas o servir como ayuda a la construcción a partir de la información suministrada precisamente por un mapa o un croquis previos. El levantamiento puede emplearse para representar la posición de puntos de la superficie terrestre, o bien registrar puntos situados en altura o, incluso, subterráneos.

Tipos de levantamiento Los levantamientos se diferencian según el grado de precisión requerido. Cuanto más detallada es la medición de los distintos elementos, más tiempo se necesita y mayores son los costes. En general se efectúa primero un levantamiento-base fundamental, que consiste en un número limitado de mediciones de gran precisión, y después una serie de mediciones menos precisas, ligadas a las fundamentales, para proporcionar un mayor número de detalles.

En el levantamiento de superficies de pequeña extensión (hasta 19 km de dis-

El levantamiento topográfico es el conjunto de operaciones que conduce a la realización de un mapa topográfico, y permite indicar sobre el mismo la posición de los distintos rasgos que constituyen la forma del terreno. Se realiza en dos fases: en la primera se puede trazar, a partir de una serie de medidas, la posición de algunos puntos fundamentales de lo que posteriormente será el mapa definitivo, y éstos servirán después de referencia a todos

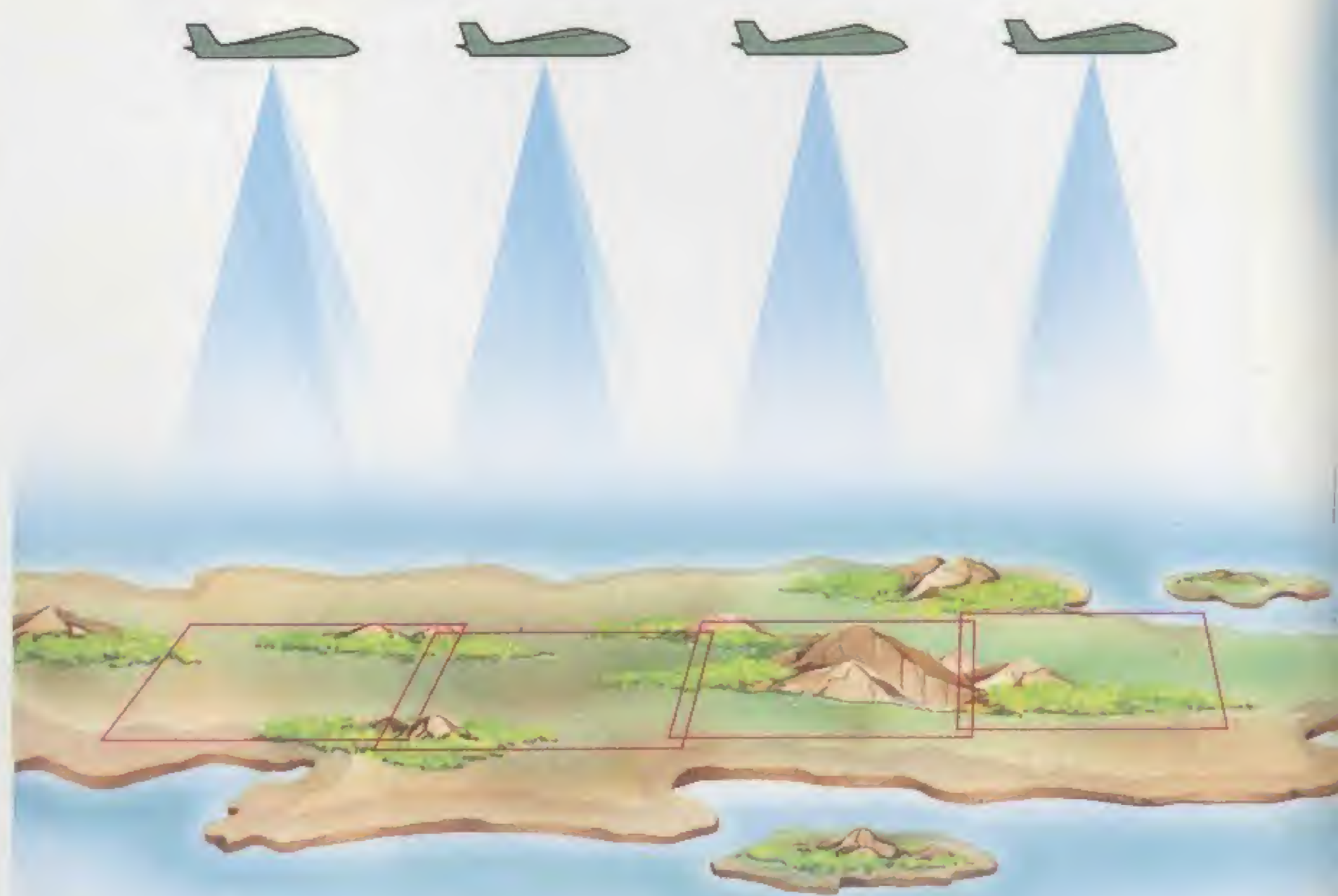
los demás. Los primeros puntos se establecen de modo artificial para poder tener fácilmente una medida de su posición: se les llama *puntos principales*. El trabajo de la segunda fase sirve para establecer qué posición tienen, respecto a los puntos de partida, todos los detalles a representar en el mapa. Para este trabajo se emplea la fotografía aérea (arriba); la indicación de los detalles representados en el mapa se lleva a cabo mediante instrumentos apropiados.

tancia), conocido por el nombre de *planimetría*, la curvatura de la superficie terrestre no tiene influencia sobre las medidas. Cuando, por el contrario, se efectúan levantamientos de superficies más extensas con las mismas técnicas, es necesario tener en cuenta el efecto de la curvatura terrestre. En este caso se habla de *levantamiento geodésico*.

Los levantamientos efectuados para identificar y describir los límites de una propiedad se llaman *planimétricos*. Los levantamientos topográficos incluyen mediciones verticales (cotas de elevaciones y depresiones) para la realización del mapa. Los levantamientos de ingeniería sirven para determinar detalles referentes a puentes, carreteras, canales o emplaza-

mientos para una cierta edificación. Se hacen levantamientos subterráneos para determinar la posición de túneles o galerías y también para las excavaciones de minas. Los levantamientos oceanográficos o hidrográficos sirven para elaborar mapas de fondos oceánicos, ríos y lagos. Este último tipo de levantamiento se utiliza en navegación para establecer la posición de plataformas petrolíferas marinas, así como para investigar las corrientes oceánicas, los fenómenos de erosión, etcétera.

Una técnica especial de levantamiento topográfico, la *fotogrametría*, se aplica —con extraordinarios resultados— para determinar las distancias y las configuraciones del terreno a partir de fotografías tomadas desde un avión.

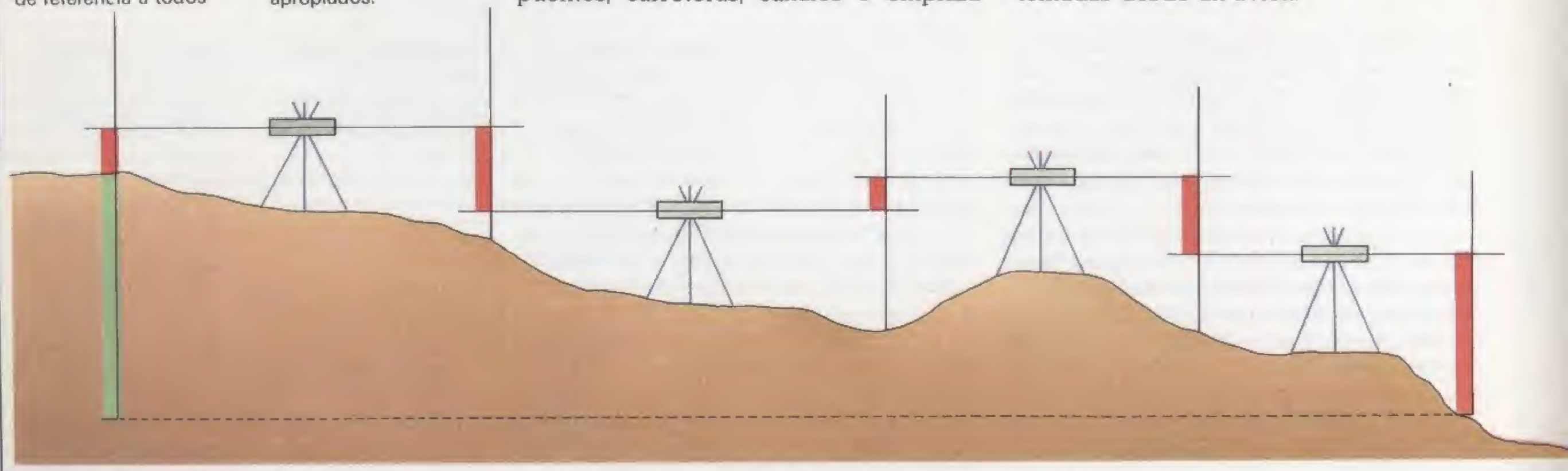


En las operaciones de triangulación es sumamente importante la primera etapa, que consiste en la medida de la longitud de una línea quebrada que une los extremos de

un largo itinerario. Antiguamente, esta operación se llevaba a cabo midiendo los ángulos con un teodolito, un anteojo montado sobre un par de ejes rotatorios,

provisto de un goniómetro de gran precisión. Hoy en día se utiliza cada vez más un sistema de medida directa de los lados, deduciéndolos del tiempo que tarda en ir

y volver un haz de luz que se emite entre dos puntos. Pero al efectuar la medición de la poligonal hay que tener cuidado porque no todos los vértices se encuentran





A-B = puntos de referencia principales
C-D = puntos de referencia secundarios

A la izquierda y debajo, inicio del levantamiento para proceder a la construcción de la red de puntos de referencia principales, que serán trasladados después a los mapas topográficos. En un territorio extenso, el levantamiento se inicia con la medición de una base AB. Esta medida debe ser hecha con la máxima precisión: se exige que el error sea inferior incluso a un milímetro por kilómetro, es decir, menos de una parte por millón. Generalmente los puntos A y B se localizan en un área sencilla, es decir, no están separados por obstáculos naturales: ríos, montañas o brazos de mar. En esos dos puntos se colocan después unos pequeños bloques de piedra sobre los que se pueden apoyar los aparatos para

levantamientos posteriores. De hecho, se parte de uno de ellos para medir la posición de los puntos C y D, cada uno de los cuales forma triángulos con A y B. A continuación, bien desde A y B o bien desde C y D, pueden medirse las posiciones de otros muchos puntos, utilizados para formar una densa red que cubre la superficie total cuyo levantamiento se está llevando a cabo. Seguidamente se determinan, respecto a esos puntos, los demás que sirven para localizar los detalles que se dibujan en los mapas. Antes de pasar de la posición de dichos puntos a su distribución sobre el retículo del mapa, hace falta llevar a cabo unos cálculos en los que hay que tener en cuenta la curvatura elipsoidal de la Tierra.

→ a la misma altura. En el dibujo de la página anterior (abajo) pueden verse vértices a distintas alturas, y esa diferencia se suele medir por medio de

una brújula o de un teodolito. La medida de esas alturas sirve para determinar las cotas altitudinales, que luego se representan en el mapa.

Métodos: poligonación y triangulación
El levantamiento topográfico se basa en principios geométricos y trigonométricos, y tiene como objeto efectuar mediciones del terreno con gran precisión.

Las mediciones altimétricas, es decir, según la dirección de la aceleración de la gravedad, y las mediciones horizontales, perpendiculares a las primeras, tienen una importancia fundamental para la información que necesita el levantamiento. En el levantamiento se miden las distancias horizontales y verticales, además de los ángulos horizontales y verticales (ángulos azimutales y cenitales respectivamente).

Las mediciones horizontales se realizan según dos métodos: en el *método de po-*

ligonación se mide una serie de segmentos rectilíneos conectados por puntos llamados *vértices de la poligonal*. Se determinan la longitud de los segmentos y el ángulo que forman entre sí. Los segmentos se disponen de forma que se termine volviendo al punto de partida, para poder detectar los errores y corregir los datos. El segundo método se denomina *triangulación* y se basa en la formación de una serie de triángulos concatenados y dispuestos según una red. Los triángulos se forman por intersección de líneas que unen los vértices de la triangulación, y cada triángulo tiene por lo menos un lado común con el triángulo adyacente. El lado de partida (base topográfica) y todos los án-

gulos del primer triángulo se miden y se utilizan para calcular todas las demás dimensiones. Para superficies grandes, la triangulación es el método más adecuado, preferible a la poligonación. Las cotas verticales, o alturas, se determinan a menudo en relación a puntos de referencia cuya altura se ha establecido previamente y que son permanentes. Las cotas del terreno se presentan en el mapa por medio de curvas de nivel que pasan por los puntos de igual altitud. Los puntos más elevados se representan gráficamente en el mapa y se les llama *vértices geodésicos*.

Véase **Cartografía; Fotografía aérea; Levantamiento topográfico con satélite**

Levantamiento topográfico con satélite

Hoy día existen todavía grandes zonas de la superficie terrestre de las que no se dispone de mapas precisos, e incluso de algunas regiones lejanas no se dispone de levantamiento topográfico alguno. El levantamiento con satélite, técnica desarrollada a principios de los años setenta, emplea instrumentos que permiten realizar levantamientos a grandes distancias, y ha supuesto una solución a este problema. Además, esta técnica es capaz de registrar simultáneamente una enorme cantidad de datos referentes a los elementos existentes sobre la superficie terrestre (vegetación, temperatura e incluso las estructuras construidas por el hombre), permitiendo así a los cartógrafos realizar la

compilación de mapas y levantamientos topográficos de la superficie terrestre de una manera totalmente nueva.

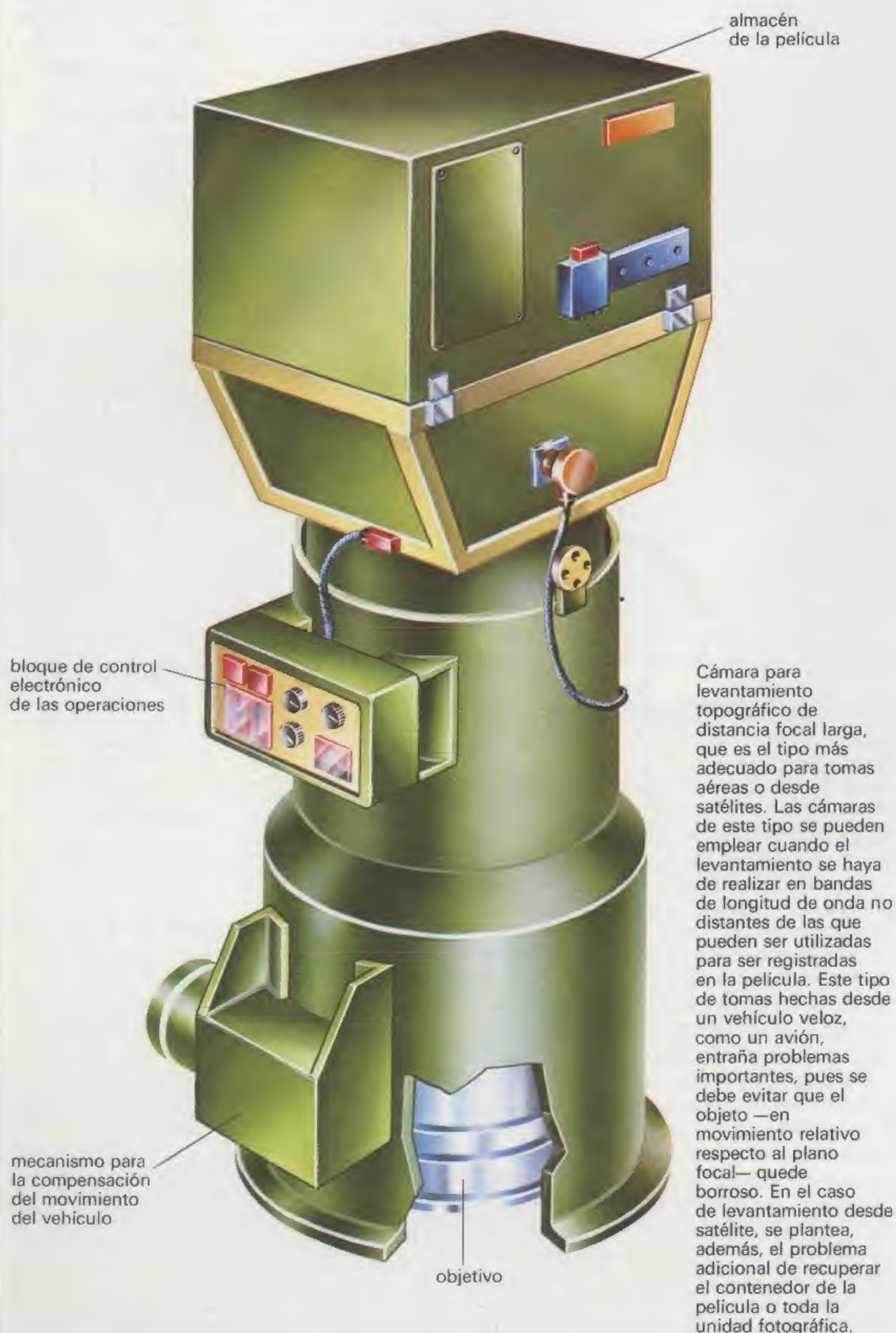
Levantamiento a distancia La capacidad de los satélites para realizar levantamientos topográficos a distancia (*teledetección*) depende fundamentalmente de su equipamiento. En sentido estricto, el levantamiento a distancia consiste en la detección de las propiedades físicas de un objeto sin llegar a tocarlo materialmente. Sensores sofisticados, como el radar, los magnetómetros, los sensores de rayos infrarrojos, los analizadores multispectrales (escáner), se emplearon ya a bordo de aviones para recoger datos sobre la su-

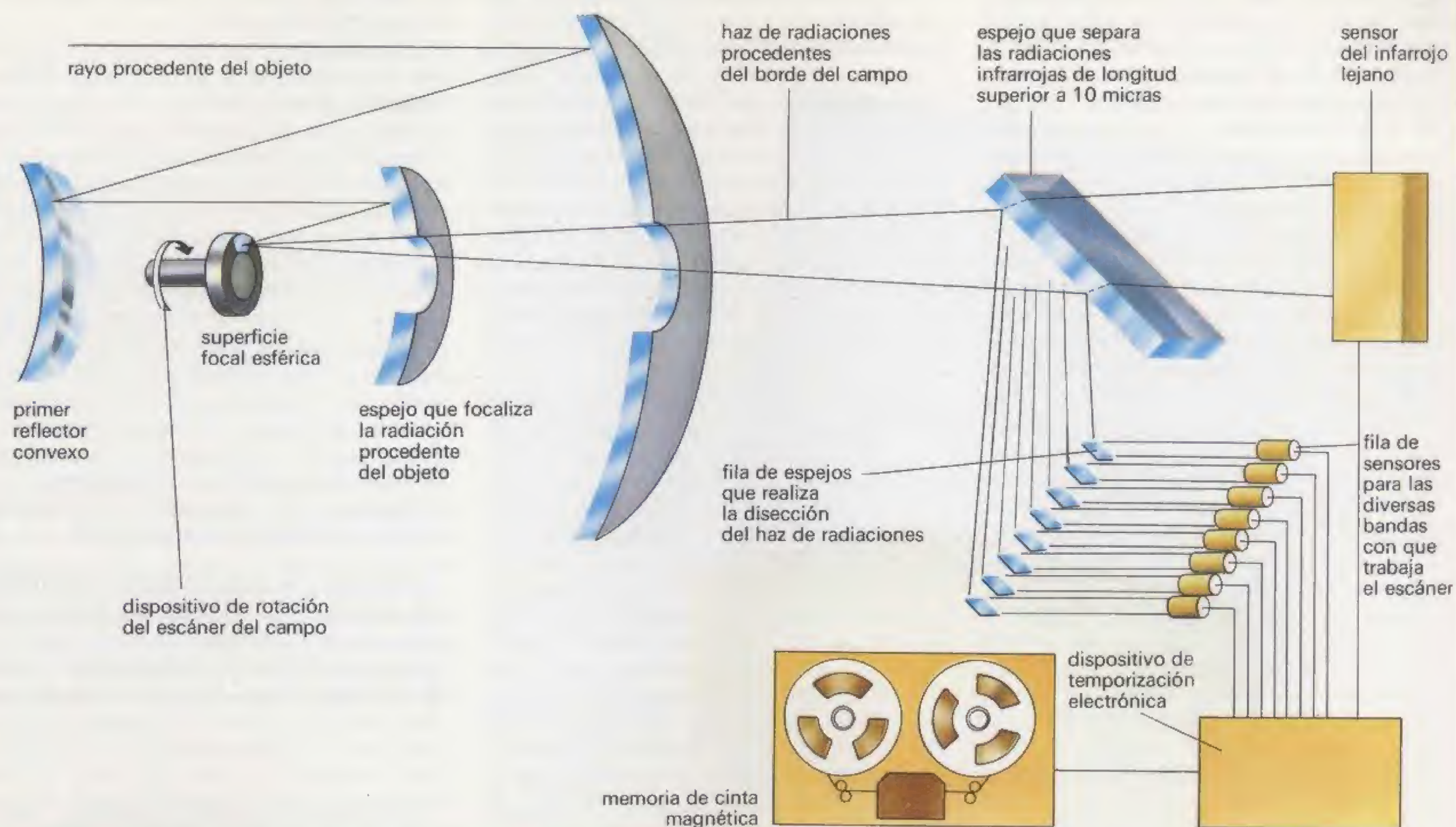
perficie terrestre, captando incluso detalles invisibles normalmente para el ojo humano y para las películas fotográficas de uso corriente. La transferencia de dichas técnicas a bordo de los satélites ha hecho progresar notablemente la cartografía. Una imagen obtenida por un sensor a distancia instalado en un satélite puede abarcar una región que anteriormente sólo hubiera sido posible cubrir con miles de imágenes tomadas desde un avión. Las imágenes obtenidas desde satélites en órbita ofrecen normalmente una cobertura muy útil de la superficie terrestre. Además, los datos obtenidos se pueden transmitir directamente a las estaciones receptoras situadas en la Tierra, apareciendo en forma numérica y proporcionando vistas verticales, sin las falsas perspectivas que aparecen en las fotografías tomadas desde aviones volando a poca altura.

Sistemas de levantamiento topográfico con satélite

El registro sistemático de datos de la superficie terrestre comenzó con el primer satélite meteorológico estadounidense, *Tiros I*, lanzado al espacio en 1960. Si bien la Unión Soviética, Francia, la ESA (Agencia Espacial Europea) y la India disponen de satélites para el levantamiento topográfico con capacidad operativa similar, el sistema *Landsat* de Estados Unidos es actualmente el único que se emplea con fines comerciales. El componente fundamental de *Landsat* es un escáner multispectral. Este dispositivo es un radiómetro de cuatro canales (instrumento proyectado para medir radiaciones electromagnéticas), que explora la superficie terrestre y registra la intensidad energética de las radiaciones reflejadas por la forma de los objetos sobre la superficie (configuración espectral de un objeto). Los sensores *Landsat* son sensibles a las radiaciones dentro del campo visible y parcialmente a las del infrarrojo del espectro electromagnético. Pueden, por ejemplo, penetrar en el agua, distinguir extensiones de vegetación verde de otros tipos de coberturas superficiales, identificar estructuras geológicas, definir configuraciones topográficas, localizar diferentes aprovechamientos del suelo, distinguir los límites entre tierra y agua y los contrastes entre suelo desprovisto de vegetación, cultivado, etcétera.

Los satélites *Landsat* toman fotografías que cubren áreas de ciento ochenta y cinco mil kilómetros cada veinticinco segundos. Estas fotos pueden ser transmitidas por radio a una estación de la Tierra, que recibe las señales numéricas codificadas en una gran antena de reflector parabólico, o pueden permanecer almacenadas en cinta, a bordo del satélite, hasta que éste pasa por encima del *Goddard Space Flight Center*, cerca de Washington, a donde se envían las imágenes. Los países que cuentan con estaciones de este tipo pueden recibir los datos inmediatamente y registrar las señales sobre una cinta que puede estar conectada a un ordenador para que la lectura sea más rápida.





NASA El instrumento más moderno para la toma de fotos desde satélites es el escáner multiespectral (sobre estas líneas). Como objetivo se emplea un sistema de espejos, que es el único capaz de proporcionar una imagen buena en campos de longitud de onda que se extienden desde la de unos 10 micrometros (infrarrojo) a la del ultravioleta cercano (cerca de 0,3 micrometros). El sistema óptico proporciona el barrido de la imagen como si se tratara de una imagen televisiva corriente; el haz es dividido posteriormente en fracciones, cada una de ellas de distinta longitud

de onda. A su vez, cada una de estas secciones es medida por un sensor registrador magnético, que almacena la imagen en forma de registro en una cinta; de la cinta se pasa después a la imagen, bien recuperando la propia cinta que se encuentra en órbita y leyéndola desde la Tierra, o bien haciendo que su contenido sea transmitido a la Tierra y efectuando la lectura directamente. A la izquierda, imagen de la isla Berry, de las Bahamas, en la que hasta las depresiones marinas llegan a diferenciarse por medio del sistema de levantamiento por satélite.

La gran cantidad de datos obtenibles mediante el levantamiento no puede ser utilizada si el país que los recibe no dispone de los medios adecuados para elaborarlos e interpretarlos. Por esta razón, algunos países han organizado instituciones multidisciplinarias, con bancos de datos propios, en las que los especialistas pueden utilizar esos datos recibidos vía satélite para aplicarlos a la exploración minera, al control de inundaciones, a la conservación del suelo, a las repoblaciones forestales, al estudio de las plagas, a la gestión y planificación del territorio, a la elaboración de mapas, etcétera.

Véase Cartografía; Fotografía aérea; Levantamiento topográfico; Teledetección

Libro

El término *libro* significa hoy una colección de páginas de papel impresas, rectangulares o cuadradas, que se pueden abrir en "bisagra", encuadernadas y protegidas por una cubierta. Pero por los descubrimientos y los estudios arqueológicos sabemos que antiguamente los libros se hacían con los más diversos materiales, adoptando diferentes aspectos. El período asirio-babilonio nos ha transmitido los primeros esbozos de libros en forma de tablas de arcilla, sobre las que se grababan *caracteres cuneiformes* utilizando un punzón. Fenicios y hebreos usaban tablillas de madera recubiertas de cera, sobre las que grababan las letras; estas tablillas se ataban después juntas con objeto de formar una unidad. Los egipcios, en el II milenio a. de C., marcaron una etapa fundamental en la historia de la evolución del libro con la utilización del *papiro*: las extensas y resistentes hojas de esa planta hacían posible escribir y dibujar fácilmente; y con igual facilidad, después de su utilización, se las podía enrollar y guardar en estuches cilíndricos. Esta forma simple y sumamente práctica estuvo muy difundida durante siglos, especialmente entre griegos y romanos. Los romanos, al comienzo de la era imperial, empezaron a servirse de hojas —reunidas y dobladas en forma rectangular— de *pergamino*.

En la Edad Media predomina el libro en pergamino: el *codex* (código) presenta generalmente un gran formato, está profusamente decorado y de ordinario va escrito en dos o tres columnas. En la Alta Edad Media el libro es elaborado casi en exclusiva en los monasterios, donde los monjes los adornan e ilustran además con bellísimas miniaturas y letras capitulares; más tarde, en los siglos XI y XII, se difunde la figura del copista laico y aparecen los centros de escritura. Estos copistas a menudo trabajan en las escuelas y las universidades que van surgiendo en los principales burgos europeos.

Desde el siglo XI se comienza a utilizar también el papel, inventado por los chinos y llevado a Europa por los árabes.

En la Baja Edad Media tiene vasta difusión en toda Europa el *libro xilográfico*, cuyo procedimiento (ya conocido en China en el siglo II después de Cristo) consistía en la reproducción sobre papel de una tabla de madera grabada y entintada. Sin embargo, el libro xilográfico es sustituido, ya en el Renacimiento, por la *impresión tipográfica de caracteres móviles*, inventada a mediados del *Quattrocento* por el alemán Johann Gutenberg: éste ideó y desarrolló diversos procedimientos, tales como la fabricación de la matriz, o carácter, la fundición de los caracteres en

plomo, la composición manual del texto y el grabado a presión.

Los libros producidos por los iniciadores de la tipografía entre 1454 y 1500 se conocen con el nombre de *incunables*, siendo en su mayoría de formato grande o medio, generalmente con ilustraciones xilográficas y encuadernados en pergamino; menos costosos que los códigos copiados a mano y que los libros xilográficos, alcanzan a finales del siglo XV tiradas medias de mil copias, lo que supone una auténtica revolución en el campo de la difusión de las ideas. Con el italiano Aldo Manuzio, en los primeros años del *Cinquecento*, nacen nuevos caracteres tipográficos (entre los que destaca la letra *cursiva*), que van sustituyendo gradualmente los caracteres góticos de Gutenberg.

Después de un período de estancamiento, e incluso decadencia del arte de la imprenta en el siglo XVII —debido sobre todo a la mala calidad de las tintas y del papel—, en el XVIII surgen interesantes innovaciones: en Francia la familia Didot inventa nuevas técnicas, tales como el *punto tipográfico* (que es una unidad de medida que aún sigue en vigencia, los puntos Didot) y la *forma múltiple de los caracteres*. También en ese siglo nace el libro económico: de pequeño formato, encuadernado en cartón, y de bajo costo.

Abajo, las principales fases de la producción de un libro. Las primeras se desarrollan generalmente fuera de la casa editora, correspondiendo su elaboración a los autores y a los fotógrafos. Los primeros preparan los textos *originales*, y los segundos las

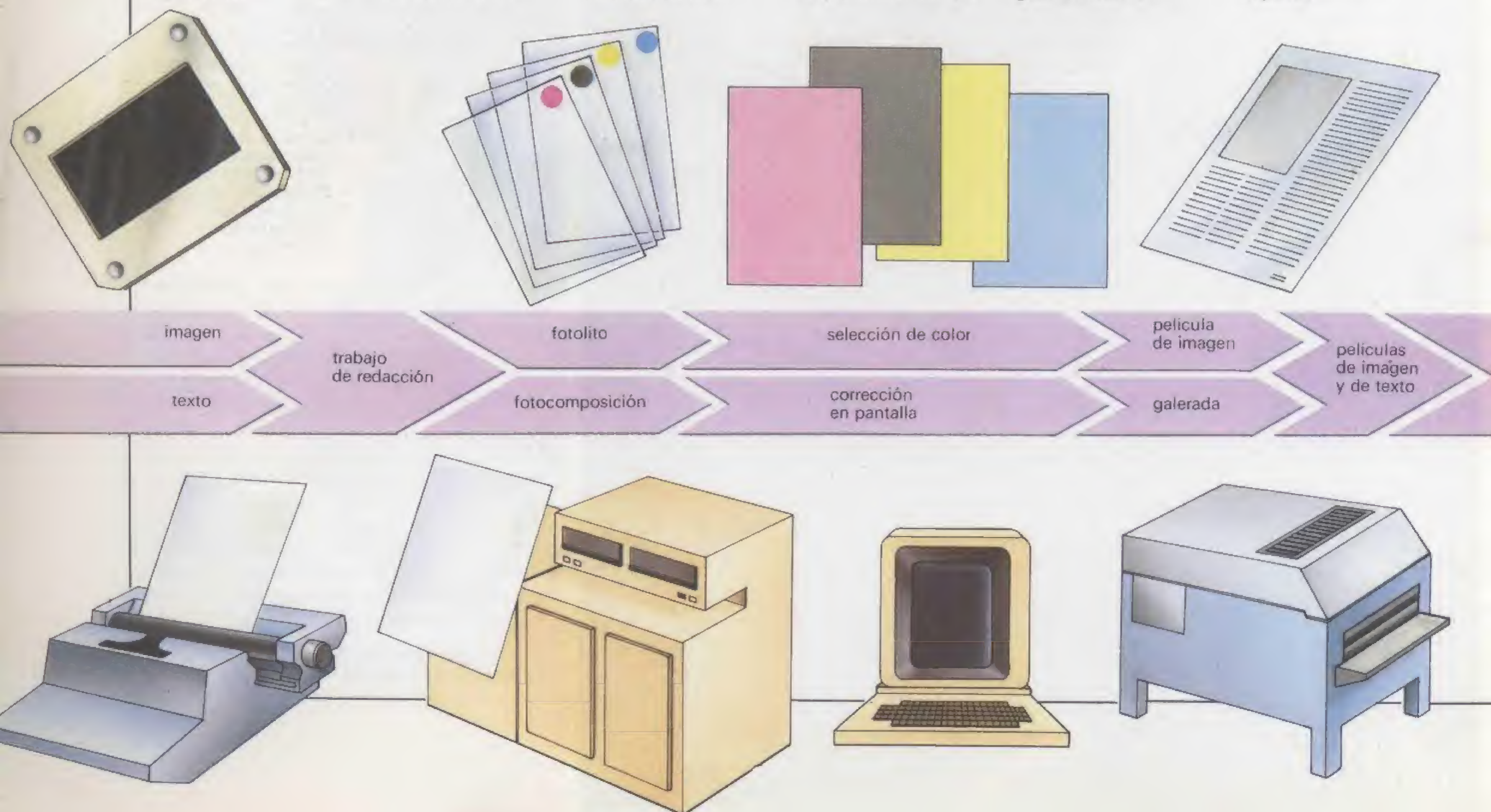
fotografías, la mayoría de las veces en diapositivas a color. A veces se incluyen también dibujos, mapas, esquemas, que son realizados por dibujantes, delineantes, cartógrafos, grafistas, ilustradores, etc. El texto, después de una revisión editorial (adecuación de su

contenido al fin que se persigue, corrección de estilo, adecuación de la extensión) pasa a la fotocomposición electrónica; para ello se registra en discos, se obtiene un listado de ordenador, se corrige por los correctores tipográficos y por el propio autor, se introducen las correcciones en el

sistema de fotocomposición y se obtienen finalmente unas *galeradas*, que se utilizan para realizar una *maqueta*, que es una especie de modelo en el que se entremezclan de forma adecuada los textos, las imágenes, etc., maquetas en las que juega un papel importante el uso que

se haga de los *blancos*, o espacios sin texto ni imágenes. Una vez hecha la maqueta, se envían las imágenes originales a la fotomecánica, donde en un escáner se obtiene una *selección de color*, formada por dos o más películas donde aparecen separados los colores; generalmente son

cuatro: cyan, magenta, amarillo y negro. Por su parte, el texto pasa a la fotocomposición otra vez, donde se procede a su ajuste, bien manualmente o a través de una pantalla adecuada. Finalmente se unen las películas de texto y las de selección, obteniendo unos filmes que se envían a la imprenta.



El siglo XIX iba a ser el siglo de las grandes innovaciones técnicas, haciendo posible el paso de una producción artesanal (que todavía subsiste) a otra a escala industrial. En 1811 los alemanes F. Kónig y A. Bauer inventan la *máquina tipográfica* accionada a motor; en 1855 R. Hoe perfecciona la *máquina rotativa*; en 1884 O. Mergenthaler construye la *linotipia* y en 1887 T. Lanston la *monotipia*, máquinas que permiten componer mecánica y velozmente los textos, hasta entonces compuestos a mano.

En nuestro siglo, la impresión tipográfica ha sido reemplazada por la impresión en *offset* y en *huecograbado*.

En la composición de los textos se ha pasado de la composición con plomo a la *fotocomposición*, sistema que se sirve de proyecciones sucesivas de las imágenes de los caracteres sobre papel fotosensible o película. Conectadas actualmente a sistemas electrónicos, las máquinas de fotocomposición permiten componer, corregir y ajustar los textos a gran velocidad. Para la reproducción de las imágenes se dispone de aparatos muy complejos, llamados *escáner*.

A la derecha, texto con ilustraciones a color. En este caso el tema original, un templo egipcio, estaba coloreado. Pero de todo su colorido debe obtenerse a la hora de imprimir sólo cuatro colores: azul cian, magenta, amarillo y negro. De ahí que para obtener una reproducción de mucha calidad sea preciso en primer lugar disponer de una magnífica diapositiva; la selección de color en el escáner debe realizarse también con sumo cuidado, y en la imprenta debe cuidarse al máximo el estado de la máquina impresora y de sus elementos (rodillos, tinteros, etc.), así como realizar un *ajuste* de los cuatro colores sumamente preciso. También influye grandemente en el resultado el papel que se utilice para la impresión, la calidad de las tintas, la velocidad de impresión, etcétera.



Véase **Aguafuerte y grabado; Encuadernación; Escáner; Impresión; Impresión en offset; Rotativa**



montaje de películas y pasado de planchas

impresión

other perhaps a couple of million years ago, each finding the other and ignoring a "Promethean fire" (the new book's title) that drove the evolutionary growth of the mind at a pace unprecedented for any other organ. Gene-culture coevolution, they say, is what made the modern human mind and the culture to which it is bound.

If *Promethean Fire* creates as much of a stir as have Wilson's earlier books, it will not be because of the theory that was already set forth in more scientific trappings two years ago. It will be because Wilson now asserts that a biologically based human science promises to yield new methods by which society can consciously redesign human nature. Wilson does not shrink from advocating what he calls social engineering. In other words, he thinks society may someday decide, for example, that people are too aggressive and that subsequent generations ought to be made less aggressive. It might be done, Wilson feels, by altering the environmental factors with which the child's genes interact to produce an adult with a fully developed human nature.

"One result of a strong human science," Wilson points out in *Promethean Fire*, "might be the creation of a sophisticated form of social engineering, one that touches the deepest levels of human motivation and moral reasoning."

David Barash winced and then rolled his eyes to the ceiling when he heard that quote. "I admire Ed a lot," he allowed. "I think he's going to be remembered as one of the most important thinkers in biology, but I wish he wouldn't say things like that." Barash is a University of Washington sociobiologist and one of the top researchers in the field. He is one of Wilson's strongest scientific allies and, in fact, is asked so often to lecture in place of the almost Darwinishly reclusive Wilson



KENYA

Despite superficial differences between cultures, people everywhere appear to possess the same links between emotional states of the brain and the facial muscles. Smiles have the same meaning in every society studied by anthropologists. Sociobiologists see this as one line of evidence that at least some behaviors are under genetic control.



CHINA

LIDAR (Láser de impulsos)

El LIDAR (acrónimo de la expresión inglesa *light detecting and ranging*, detección y posicionamiento por la luz) se desarrolló a principios de la década de los sesenta, y se fundamenta en la propiedad que presentan ciertas bandas de radiación electromagnética de reflejarse en los objetos materiales, produciendo un eco. El instrumento consta de un rayo láser que emite a la atmósfera impulsos luminosos de una duración muy breve (nanosegundos). Si en su camino el rayo encuentra algún objeto, se refleja en él y retorna a su punto de partida. Conociendo la velocidad de la luz y midiendo el tiempo que tarda el impulso en ir y volver, tiempo que puede ser de algunos nanosegundos, se obtiene la distancia que los separa. Los objetos en movimiento modifican la forma de la onda reflejada, dilatándola o contrayéndola (efecto Doppler), de forma que se puede obtener la velocidad y la dirección de un objeto móvil a partir de la diferencia de frecuencia entre el impulso enviado y el eco.

Utilización del LIDAR Una de las principales ventajas del LIDAR sobre el radar de microondas es su alta resolución, es decir, la capacidad de distinguir objetos pequeños y de discriminarlos unos de otros, debido al hecho de que el haz de luz láser es muy fino y de longitud de onda muy corta o lo que es lo mismo de alta frecuencia (con un láser de dióxido de carbono esta frecuencia es del orden de 30 terahertz, es decir, 30 billones de ciclos por segundo, mil veces la de un radar de microondas). Esto significa que el LIDAR puede distinguir dos objetos pequeñísimos muy próximos, mientras que el rayo de un radar de longitud de onda mayor los captaría como un único objeto. El LIDAR proporciona con una sola lectura valores muy precisos de la velocidad de los objetos en movimiento, mientras que el radar de microondas tiene que efectuar varias lecturas para obtener el mismo resultado. Su precisión es tal que, efectuando barridos sobre el área en que se encuentre el objeto y con ayuda de un adecuado equipo electrónico y un ordenador, puede obtenerse la imagen del objeto en una pantalla de rayos catódicos y deducir y analizar su forma y dimensiones de manera automática, prácticamente en tiempo real.

Esta característica, unida a que los equipos son compactos, ligeros, consumen poca energía y son difíciles de detectar e interceptar debido a la estrechez del haz, hace que el LIDAR esté encontrando un amplio campo de aplicaciones en el terreno militar. Mientras que el radar de microondas se limita a descubrir la presencia de un objeto, el LIDAR detecta con precisión su posición y obtiene su imagen.

Las principales limitaciones del LIDAR se derivan de la naturaleza de la radiación empleada por el láser, con longitudes de onda en la banda del espectro visible, el cercano ultravioleta o el cercano infrarrojo. Estas radiaciones son afectadas por la

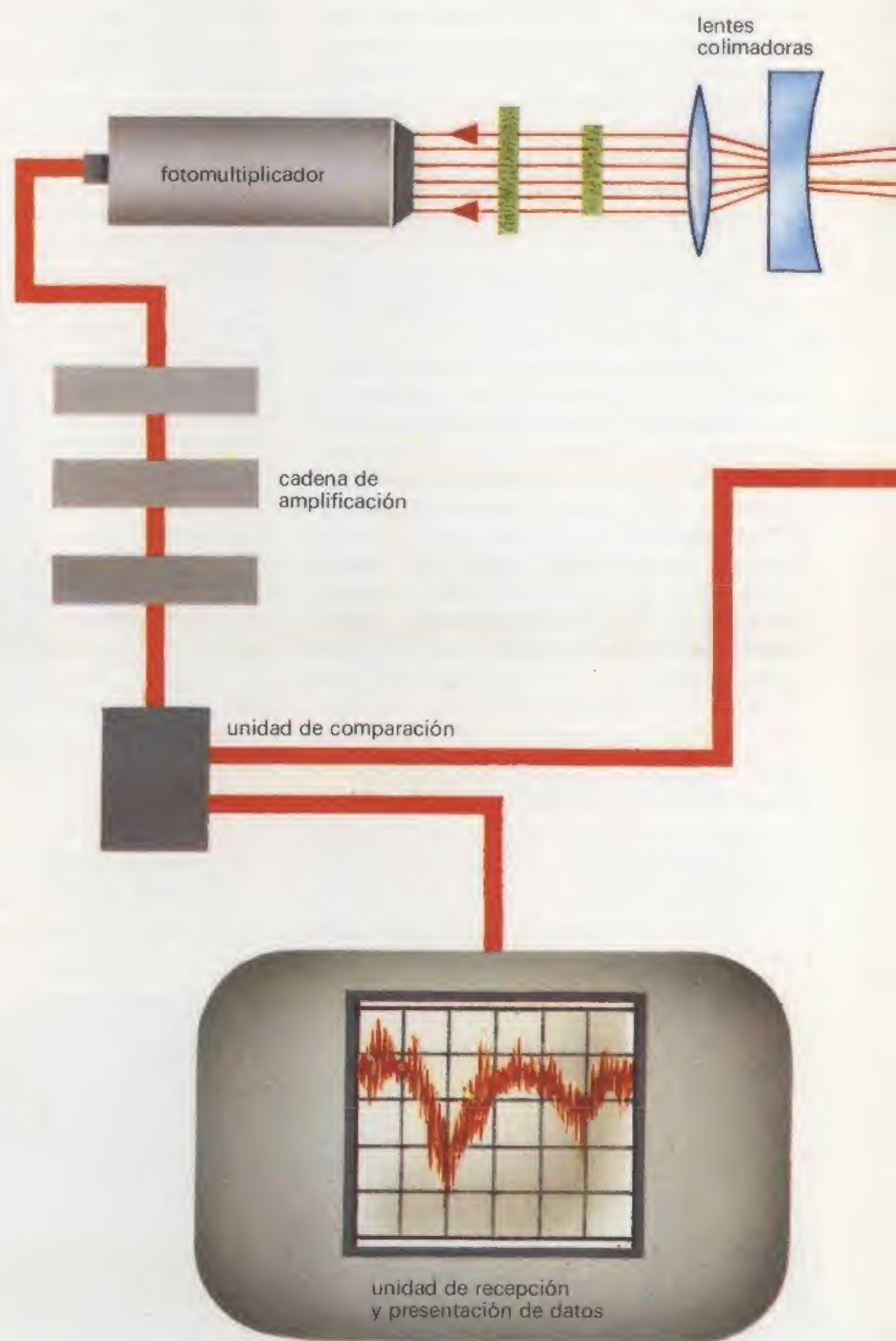
lluvia, la humedad, la turbulencia del aire, y, en general, por las condiciones meteorológicas, en mayor proporción que los radares de microondas. Asimismo, la señal se debilita cuando tiene que recorrer largas distancias en la atmósfera. Algunos de estos problemas, no obstante, pueden corregirse con el uso de filtros ópticos o electrónicos.

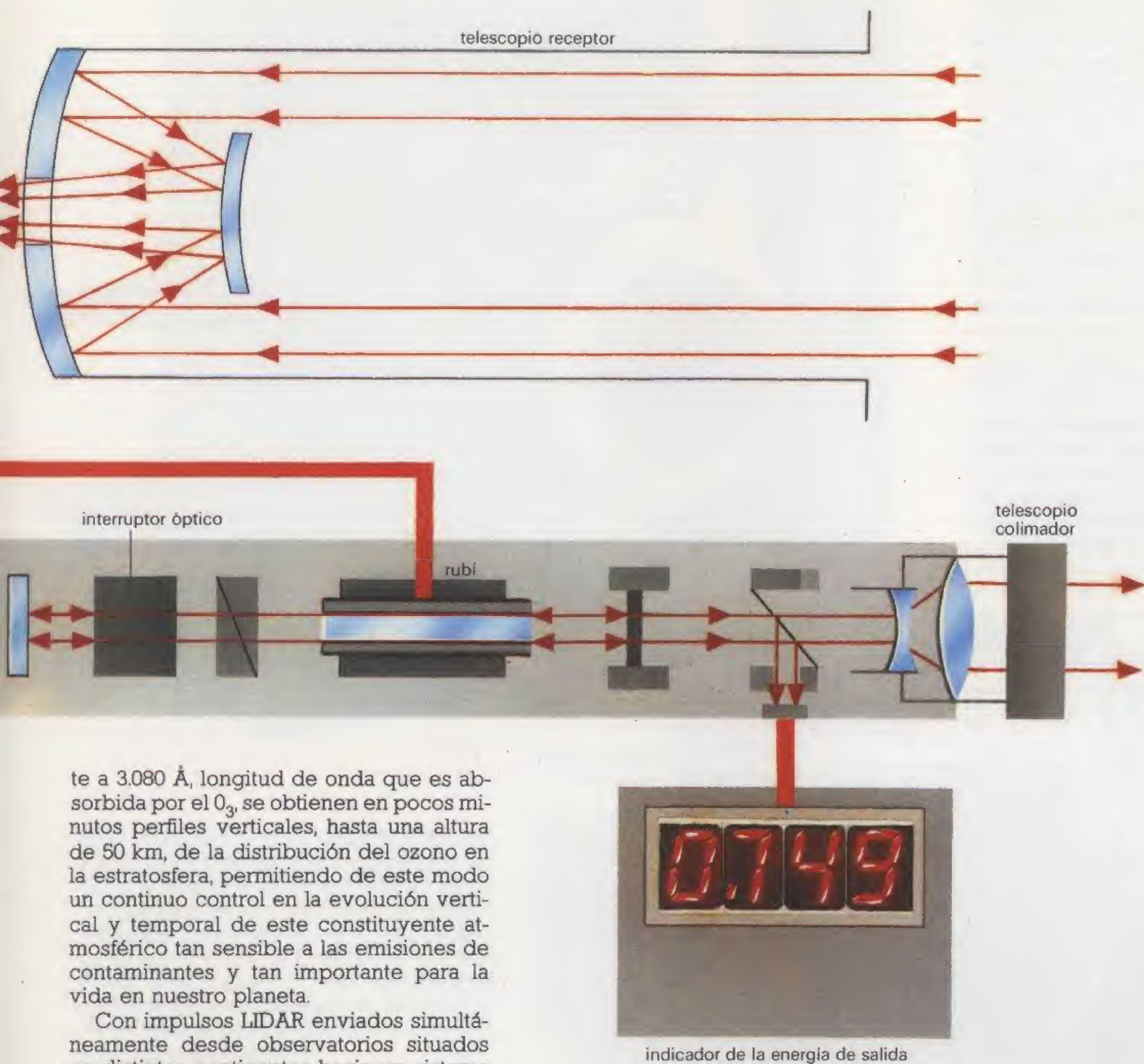
Por otro lado, la ventaja mencionada de la estrechez del haz producido por el láser se convierte en un inconveniente cuando se trata de localizar objetos en posición desconocida. En estos casos resulta conveniente utilizarlo conjuntamente a un sistema de microondas. El radar de microondas descubre el objetivo y el sistema láser detecta con precisión la posición y obtiene una imagen.

Otros usos del LIDAR Además del uso mencionado para la identificación de objetivos militares, el LIDAR se usa también dentro de este campo para apuntador de precisión en baterías de artillería y a bordo de bombarderos.

Con finalidad civil, el LIDAR está encontrando aplicaciones en meteorología gracias a su propiedad de reflejarse en partículas de polvo en suspensión. Por ejemplo, los sistemas LIDAR pueden advertir a los pilotos de la presencia de turbulencias y variaciones de presión imprevistas en una zona de la atmósfera aparentemente tranquila.

En la actualidad se están desarrollando sistemas de LIDAR que utilizan radiación ultravioleta para medida del ozono atmosférico. Usando un láser de ClXe que emi-





Esquema de funcionamiento de un LIDAR (a la izquierda). Los impulsos, de una duración de unos pocos nanosegundos, se generan en el tubo láser (parte inferior de la figura) y son emitidos al espacio. Si el rayo encuentra un objeto en el camino, se refleja. El eco se recoge en un telescopio (parte superior de la figura) y es enviado a un fotomultiplicador para su medida. Esta señal amplificada es procesada, comparándola con el rayo emisor, y los resultados son presentados en la pantalla.

te a 3.080 \AA , longitud de onda que es absorbida por el O_3 , se obtienen en pocos minutos perfiles verticales, hasta una altura de 50 km, de la distribución del ozono en la estratosfera, permitiendo de este modo un continuo control en la evolución vertical y temporal de este constituyente atmosférico tan sensible a las emisiones de contaminantes y tan importante para la vida en nuestro planeta.

Con impulsos LIDAR enviados simultáneamente desde observatorios situados en distintos continentes hacia un sistema de espejos situado en la Luna se puede medir no sólo la distancia entre la Tierra y la Luna, sino también las velocidades con las que se acercan y alejan los continentes entre sí. Esta alta resolución y la precisión a gran distancia en la determinación de la velocidad se pueden utilizar para el seguimiento de satélites en órbita.

Véase Efecto Doppler, Láser

El LIDAR se utiliza, entre otras aplicaciones, para el estudio de las tormentas, la distribución de los vientos en áreas de interés y la dispersión de agentes contaminantes de la atmósfera. Por ejemplo, el LIDAR permite determinar la posición y las dimensiones de una columna de humo procedente de una chimenea industrial: su forma y desarrollo están estrechamente unidos a factores

meteorológicos de los que depende su difusión en la atmósfera. En la foto puede verse un dispositivo con láser basado en el mismo principio que el LIDAR, es decir, la difusión de la luz en las partículas que se pretenden analizar, y usado para el estudio de las características de una descarga de gas. El gas que se quiere examinar es inyectado por una tobera sobre el eje de un cono de luz, permitiendo el estudio de su dispersión.

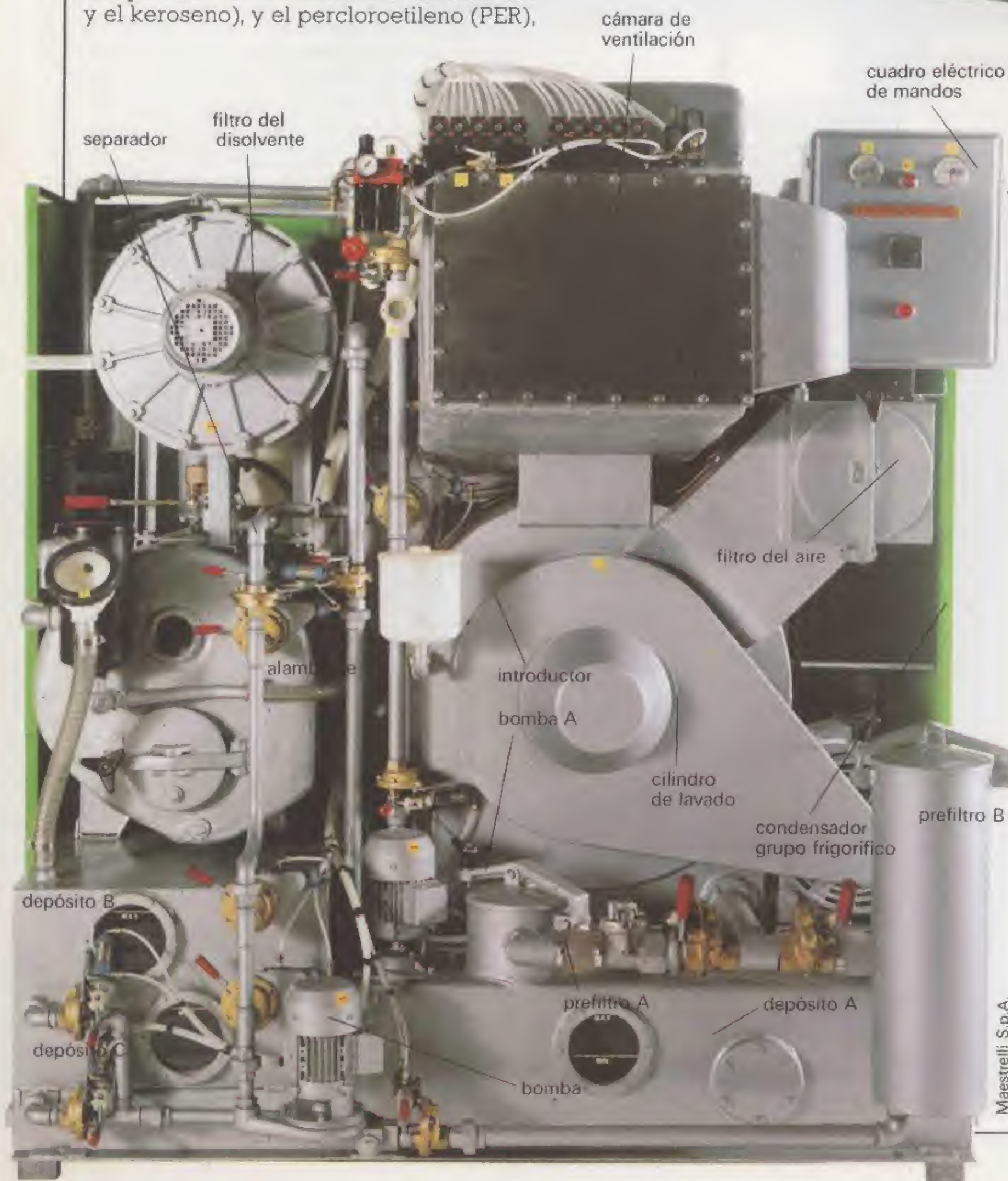


Limpieza en seco, máquina de

Una lavandería dedicada a la limpieza en seco se asemeja ya a un laboratorio donde son empleados sofisticados procedimientos capaces de hacer desaparecer las manchas y la suciedad de los tejidos y de conseguir que parezcan casi nuevos. No obstante, la técnica básica de limpieza es la misma que se utilizaba ya a mediados del siglo XIX. Aunque desde entonces esa técnica haya sido estudiada sobre bases científicas y perfeccionada ulteriormente, ha quedado para siempre como un procedimiento de limpieza de los tejidos en el que, prácticamente, no se hace uso del agua.

El lavado en seco: técnica y maquinaria El lavado en seco emplea disolventes orgánicos para impregnar los tejidos y quitar las manchas de naturaleza oleosa de la superficie de las fibras que componen el tejido. En los primeros cincuenta años de empleo de esta técnica, los disolventes usados eran el benzol, el keroseno, y la bencina; pero su inflamabilidad hacía el proceso demasiado peligroso.

Actualmente, los disolventes más utilizados son el *white spirit*, llamado también "aguarrás mineral" o *disolvente*, (fracción del petróleo intermedia entre la bencina y el keroseno), y el percloroetileno (PER),



un disolvente de origen petroquímico que es ininflamable a las temperaturas en que suele realizarse la limpieza en seco, prácticamente inodoro y que no causa pérdidas de color en los tejidos. El disolvente no puede eliminar toda la suciedad, por lo que es necesario agregarle un pequeño porcentaje de detergentes portadores de agua, a fin de eliminar la suciedad soluble en ella.

La máquina para el lavado en seco es parecida a una lavadora doméstica, pero de mayores dimensiones. El ciclo de lavado dura menos de 15 minutos. El operario debe examinar el material a limpiar, preparándolo antes de meterlo en la máquina; en esta fase se determina la naturaleza de la mancha y, en consecuencia, son agregados —en pequeñas cantidades— líquidos quitamanchas especiales. Con arreglo al tipo de tejido a lavar, el operario establece también la duración y potencia del programa. La temperatura que se aplica en la operación de lavado es, en general, de unos 18 °C aproximadamente y su duración oscila entre 2 y 15 minutos. Después de la limpieza y el aclarado del disolvente, las prendas se centrifugan a gran velocidad para extraer el exceso de

Arriba, a la derecha, máquina para limpieza en seco. Las prendas que se han de limpiar se colocan en el tambor perforado, al que se envía —por medio de bombas— el disolvente con un poco

de detergente. Después del lavado y aclarado del disolvente, las prendas se centrifugan. El disolvente sobrante se destila y purifica para su posterior reutilización.



A la izquierda, máquina profesional de planchado. Dispone de cómodos accesorios para planchar partes difíciles, como mangas y perneras, y produce calor y vapor que deben ser controlados por un operario. Permite un planchado muy esmerado, pero requiere también mucha ayuda por parte del personal.

da a un vaporizador que se comunica con una plancha metálica en contacto con la prenda, plancha que así es incapaz de quemar los tejidos.

Las distintas partes de una prenda requieren diferentes técnicas de planchado. Por ejemplo, el cuerpo de una camisa es planchado sobre una superficie plana y alargada como una mesa, mientras que las mangas son planchadas con el vapor hecho pasar a través de los puños, de forma que elimine las arrugas.

El lavado en seco se ha convertido en una industria especializada; a medida que los diseñadores ponen a punto nuevos tejidos naturales y sintéticos, el perfeccionamiento de métodos de limpieza en seco específicos para esos nuevos tejidos es cada vez más importante. Por ejemplo, el fenómeno del *pilling* (formación de bolitas) en los tejidos con mezcla de lana puede paliarse considerablemente con las técnicas de lavado en seco.

Véase Disolvente; Fibras y tejidos sintéticos; Lavadora; Tejidos

disolvente (que se recupera para su reutilización), y comienza la operación de secado, consistente en voltearlas con suavidad en medio de un flujo de aire caliente. También el dispositivo de secado es similar al de la lavadora doméstica, pero en este caso la temperatura es regulada mucho más cuidadosamente, ya que los disolventes usados son inflamables por encima de ciertos límites.

Una de las mayores ventajas de la limpieza en seco reside en el hecho de que las prendas así lavadas mantienen su forma y sus dimensiones, es decir, no experimentan distorsión. Con el lavado en agua, por el contrario, las prendas son escurridas y tienden a estrecharse, a arrugarse y en definitiva a deformarse. Por esta razón los fabricantes de tejidos y prendas de calidad recomiendan la limpieza en seco para sus artículos.

Planchado Después del secado, los trajes son planchados con prensas a vapor. La prensa a vapor inventada por A. J. Hoffmann en 1903 ha sido el modelo-base para todos los demás tipos de prensas perfeccionadas posteriormente. El agua, calentada en una caldera, es enviada



A la derecha, máquina para planchar de uso industrial. Se utiliza para el planchado de partidas de ropa al final de un ciclo productivo. Este es el modelo para trajes y abrigos. Está dotada de

accesorios que sirven para mantener la prenda en posición correcta mientras el vapor entra para calentar y humedecer. La aplicación de calor seco completa el trabajo.

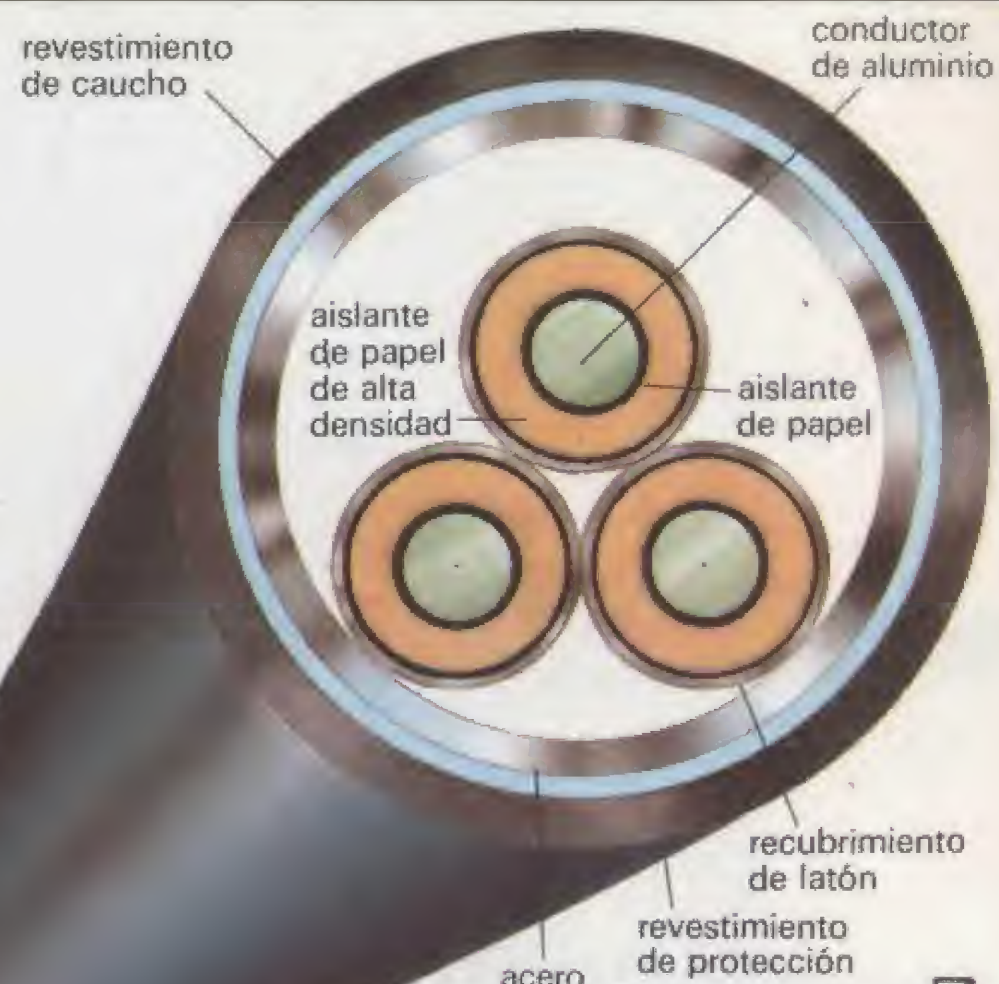
Campitel International S.p.A.

Línea eléctrica de alta tensión

Observando de cerca una instalación de producción de energía eléctrica (que suele estar situada en el campo, lejos de cualquier ciudad), se ve que salen de ella pesados cables colgados de una serie de torres de acero de la misma altura que un edificio de bastantes pisos. Esos cables transportan la energía eléctrica de la central a las subestaciones de distribución, que la reparten a industrias y edificios comerciales y residenciales de la zona.

Transporte de energía Cuando hay que transportar grandes cantidades de energía a largas distancias —por ejemplo, de una central productora de energía a

El dibujo reproduce la sección de un cable utilizado para transporte de energía eléctrica a través de un lago o mar, especialmente un estrecho, apoyándolo en el fondo. El cable está encerrado dentro de una cinta de acero, revestido con distintas capas de caucho tratado. En el dibujo se ha representado el perfil del estrecho que cruza el cable submarino, que tiene una longitud de 1.200 metros. El primer tramo del cable es subterráneo.



En la foto bajo estas líneas se puede ver el aspecto de una subestación de transformación. Una subestación de transformación es un nudo de la red de distribución de energía, en el que están instalados los aparatos

necesarios para tratar la energía que llega, modificando sus características, especialmente la tensión y la corriente. Esta tensión tiene en general un valor muy alto a su llegada y para su utilización se necesita un valor de

tensión mucho más bajo. Las estaciones de transformación se pueden construir abiertas o cerradas. Normalmente, cuando hay disponibilidad de espacio se prefiere construir estaciones abiertas; sin embargo, si no se da dicha

circunstancia, hay que recurrir a construir las cerradas o cubiertas, donde los aparatos están dentro de recipientes llenos de gas con propiedades eléctricas que aseguran el aislamiento entre los distintos elementos.

una subestación—, el sistema más eficaz para que las pérdidas sean mínimas es enviarla a través de un hilo conductor con una tensión eléctrica muy elevada. La *tensión* es la medida del potencial eléctrico (expresado en voltios) capaz de realizar un trabajo. La corriente eléctrica, que se denomina normalmente *corriente*, se mide en amperios. La tensión de la energía doméstica, que es la disponible en el portalámparas de las casas, es baja: 220 voltios en la mayoría de los países de Europa occidental y 110 voltios en Estados Unidos. En cambio, las líneas eléctricas de alta tensión transmiten energía a gran distancia con tensiones que llegan hasta los 400.000 voltios.

La tensión de la energía eléctrica producida se eleva primero en el lugar de producción —mediante los *transformadores*— a valores proporcionales a las distancias que tendrá que recorrer, subiendo a 220.000 ó 380.000 voltios en las grandes líneas. Una vez que ha llegado al punto de utilización, se transforma a 6.000 voltios y se distribuye a subestaciones que la suministrarán a 220 voltios para usos domésticos. Este procedimiento tiene la función de reducir la dispersión de corriente en los cables durante el recorrido y al mismo tiempo hace que la sección de los conductores pueda ser más reducida.

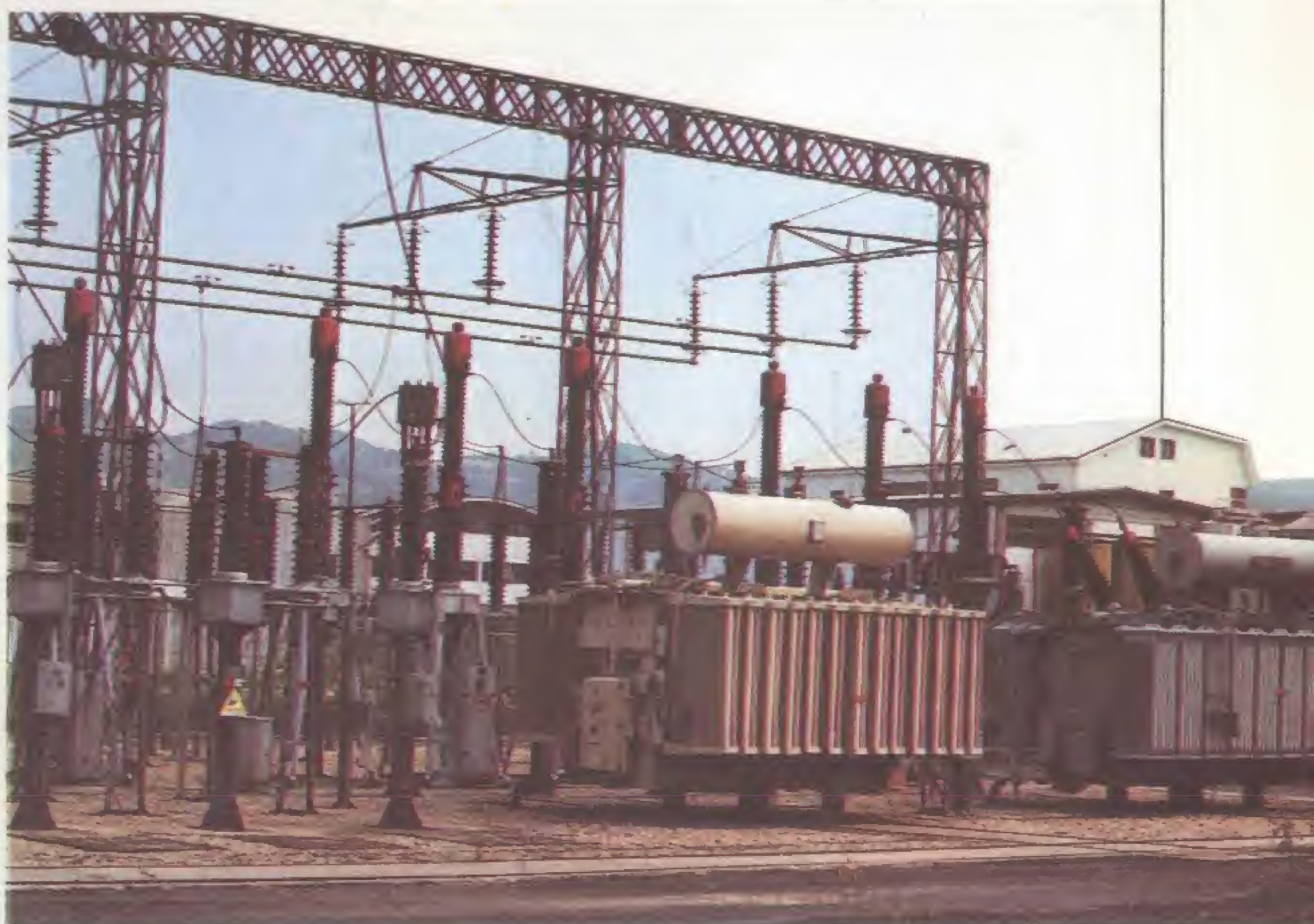
Alta tensión Una línea típica de alta tensión está formada por varias docenas de hilos conductores metálicos envueltos para formar un cable pesado, sujeto en torres robustas de estructuras de acero. Nor-



malmente las líneas de transporte son aéreas; los conductores son de cobre o de aluminio con alma de acero. Para sujetar los cables a las torres de acero se utilizan cadenas de aisladores, contruidos normalmente con materiales cerámicos, como porcelana esmaltada o vidrio, que no conducen la electricidad. Sobre los conductores se colocan uno o dos cables de guarda, que tienen la función de proteger la línea de descargas de rayos durante las tormentas. Los cables conductores (cuyo diámetro puede alcanzar los 6 cm) son muy pesados, y cuando están colgados entre dos torres se comban siguiendo una curva llamada *catenaria*; la distancia entre los dos extremos de la catenaria se denomina *vano* y la distancia vertical entre la línea que une los dos extremos de la catenaria y el punto más bajo de ésta se llama *flecha*. Las líneas de transmisión son trifásicas, es decir, formadas por una terna de conductores, y frecuentemente se utilizan (sobre todo para transporte de potencias elevadas) dos ternas en paralelo colgadas de las mismas torres. Actualmente existen centrales eléctricas que alcanzan un millón de kW y para el transporte de potencias tan elevadas son necesarias líneas de muy alta tensión.

Hoy en día se están estudiando sistemas de transporte con cables de alta tensión fabricados con materiales superconductores enfriados con helio líquido, para reducir de esta forma las pérdidas energéticas durante el transporte desde la central al punto de consumo.

Véase **Electricidad; Energía eléctrica, producción de; Instalaciones eléctricas**

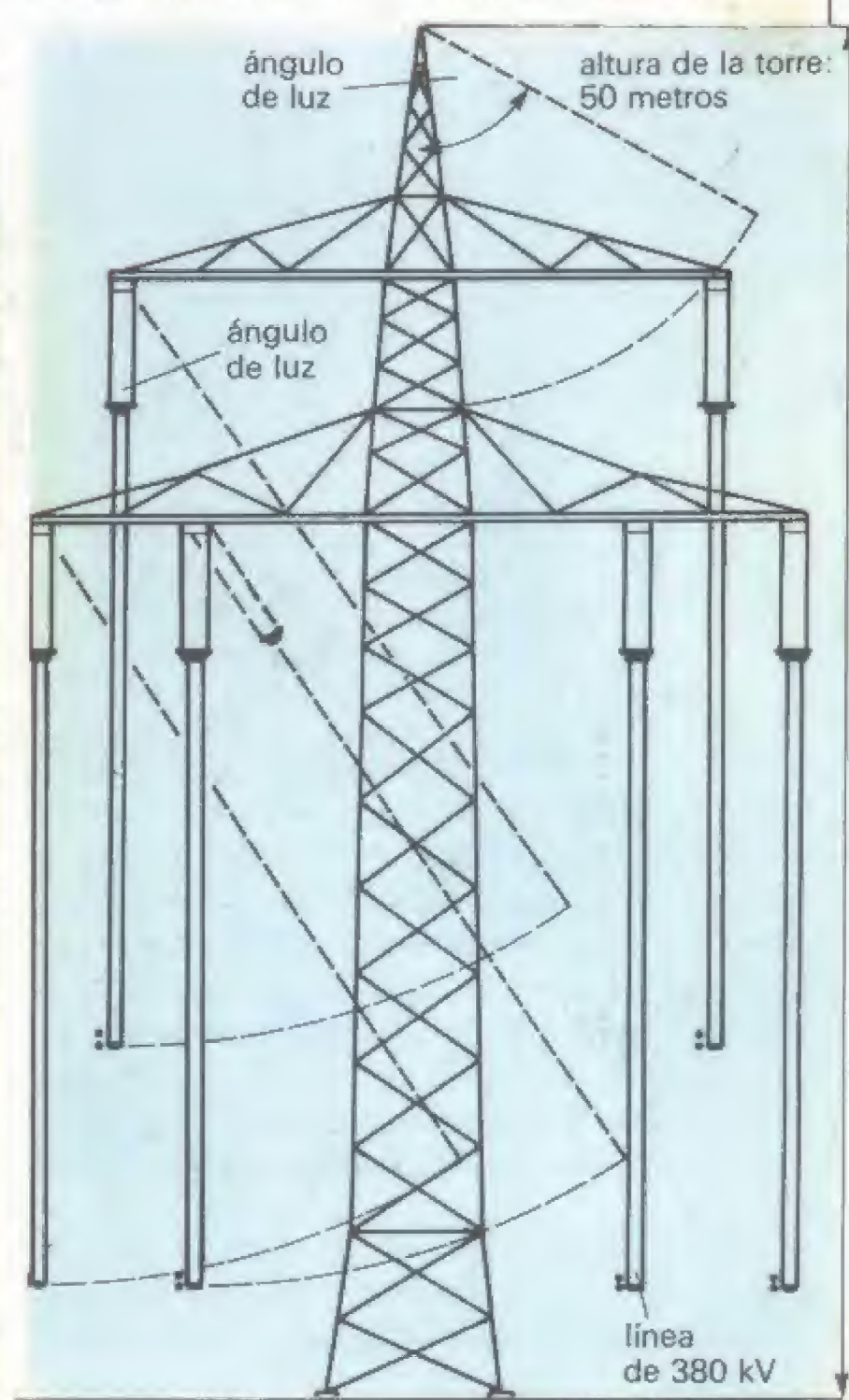
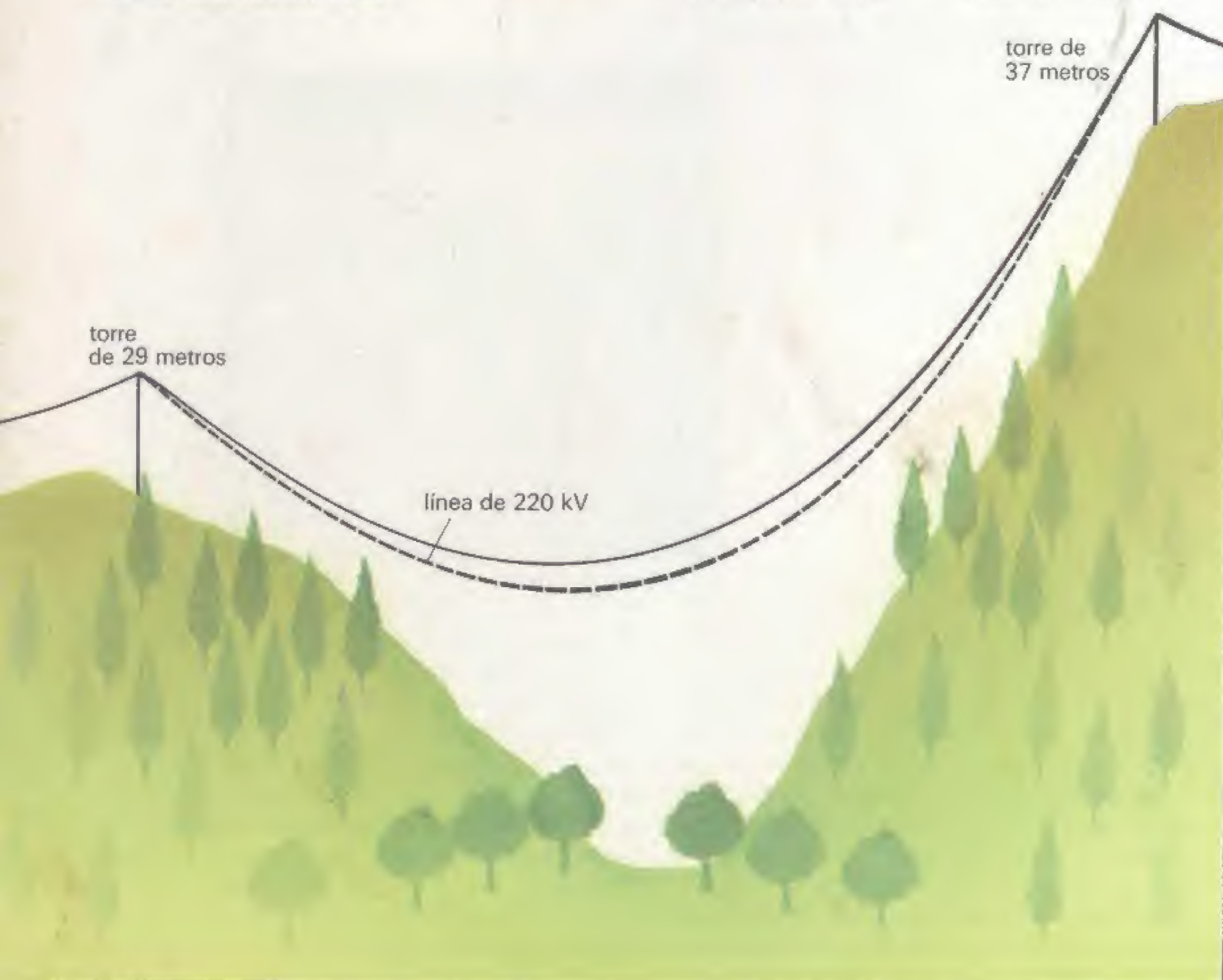


En la foto de arriba tenemos una estación de transformación, con interruptores de aire comprimido y transformadores, para funcionamiento a tensiones de 380 kV. Bajo estas líneas vemos dos diagramas que ilustran dos situaciones de transporte de energía. A la izquierda se ha

ilustrado la forma de superar un valle con una torre de partida de 29 metros y una de llegada de 37 metros: como se puede ver, el cable sigue una trayectoria fuertemente curvada; la línea de trazos indica la posición que puede alcanzar el cable después de una tracción debida, por

ejemplo, a la acción del viento. Esta línea eléctrica está pensada para el transporte de energía con una tensión de 220 kV. En el dibujo de la derecha vemos la forma de calcular las distancias entre los cables suspendidos de una torre, en este caso seis cables que transportan energía eléctrica con

una tensión de 380 kV. La distancia mínima al suelo se ha calculado en 9 m, mientras que la altura total de la torre es de 50 m. La distancia entre cables garantiza que no habrá excesivas interferencias de los campos eléctricos generados en el espacio que rodea a los conductores.

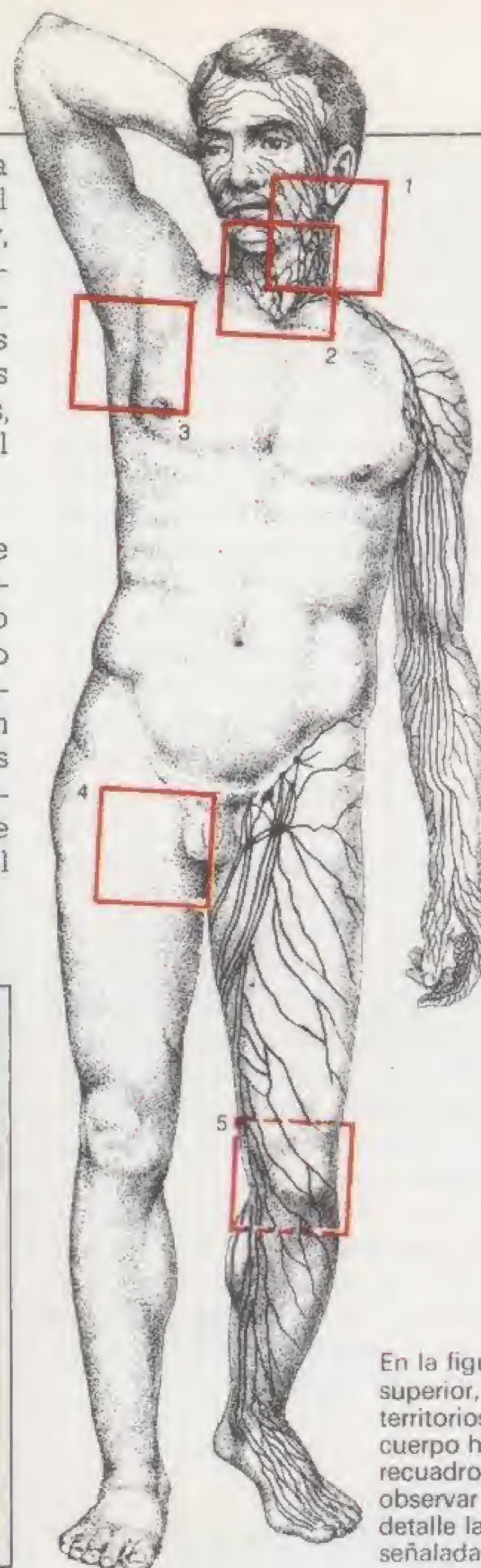


Linfático, sistema

El sistema linfático es uno de los sistemas orgánicos más importantes. Su función es la de colaborar con la sangre en la nutrición de los tejidos, en la defensa ante los microorganismos infecciosos y en el mantenimiento del equilibrio de los fluidos corporales. El sistema linfático se distribuye por el organismo de una manera muy similar a como lo hace el sistema circulatorio, formando una red constituida por vasos y ganglios linfáticos. Los vasos *linfáticos* transportan un líquido claro denominado *linfa*, que es, en términos generales, plasma sanguíneo filtrado, es decir, sangre privada de su parte corpuscular. La linfa tiene su origen en los capilares más pequeños del sistema circulatorio. Si bien el sistema linfático puede ser considerado accesorio del sistema circulatorio sanguíneo, también es cierto que aquél posee algunas funciones específicas.

que podrían invadir los tejidos. El sistema linfático, análogamente a lo que realizan el bazo y la médula ósea, produce *linfocitos*, un tipo especial de glóbulos blancos capaces de destruir las bacterias y de poner en marcha las actividades defensivas del organismo. Mientras que los linfocitos eliminan los microorganismos invasores, el sistema linfático colabora a purificar el sistema circulatorio.

Otras funciones de la linfa La red de vasos linfáticos absorbe sustancias metabolizadas por el intestino, colaborando con el sistema circulatorio en el cometido primario de transportar las sustancias nutritivas a las células del organismo. En concreto, los vasos linfáticos absorben las sustancias grasas del intestino y las introducen en el sistema circulatorio. Dado que algunos estratos de la piel, en particular el



En la figura de la parte superior, principales territorios linfáticos del cuerpo humano; en los recuadros podemos observar con más detalle las tres zonas señaladas.

GANGLIOS LINFATICOS DE LA REGION CERVICAL

ganglios preauriculares
ganglios suboccipitales
ganglios mastoideos
ganglios parotideos
ganglios submandibulares
ganglios cervicales
vena yugular interna
arteria carótida común



El sistema linfático —formado por vasos y ganglios o nódulos— se extiende por casi todos los diversos "territorios" del organismo. Los vasos linfáticos convergen desde las regiones periféricas hacia los colectores centrales y durante su recorrido atraviesan uno o varios ganglios linfáticos. Estos últimos se encuentran además reagrupados en determinadas regiones, dando lugar a las características agrupaciones ganglionares.

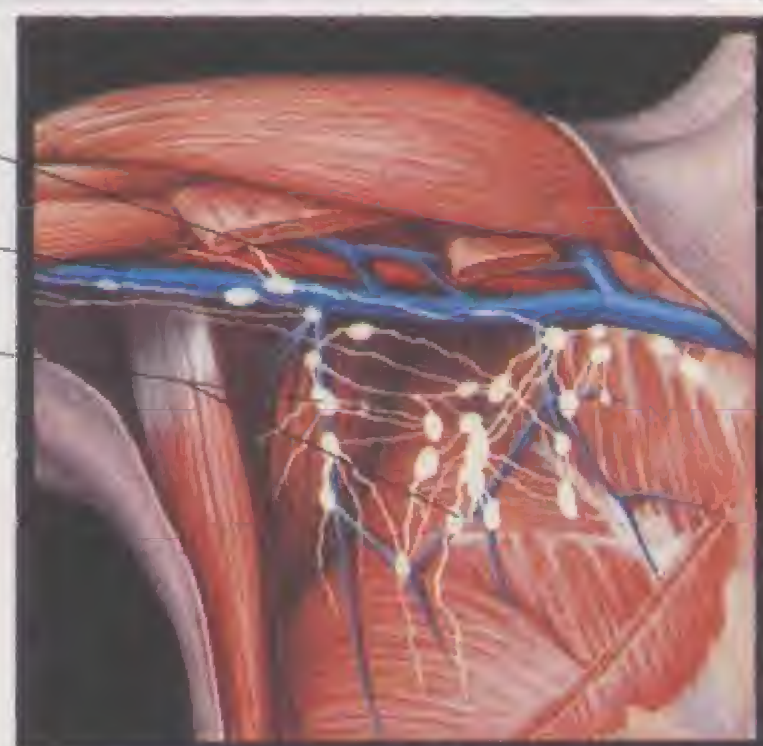
GANGLIOS LINFATICOS INGUINALES

ganglios inguinales
vena femoral
arteria femoral



GANGLIOS LINFATICOS AXILARES

arteria axilar
vena axilar
ganglios axilares



El sistema linfático está compuesto por una serie de vasos linfáticos, cuya *luz* va siendo progresivamente más amplia, y que permite la circulación de la linfa desde los tejidos hasta los conductos linfáticos torácicos izquierdo y derecho, situados debajo de las clavículas. En este punto la linfa retorna a la circulación sanguínea.

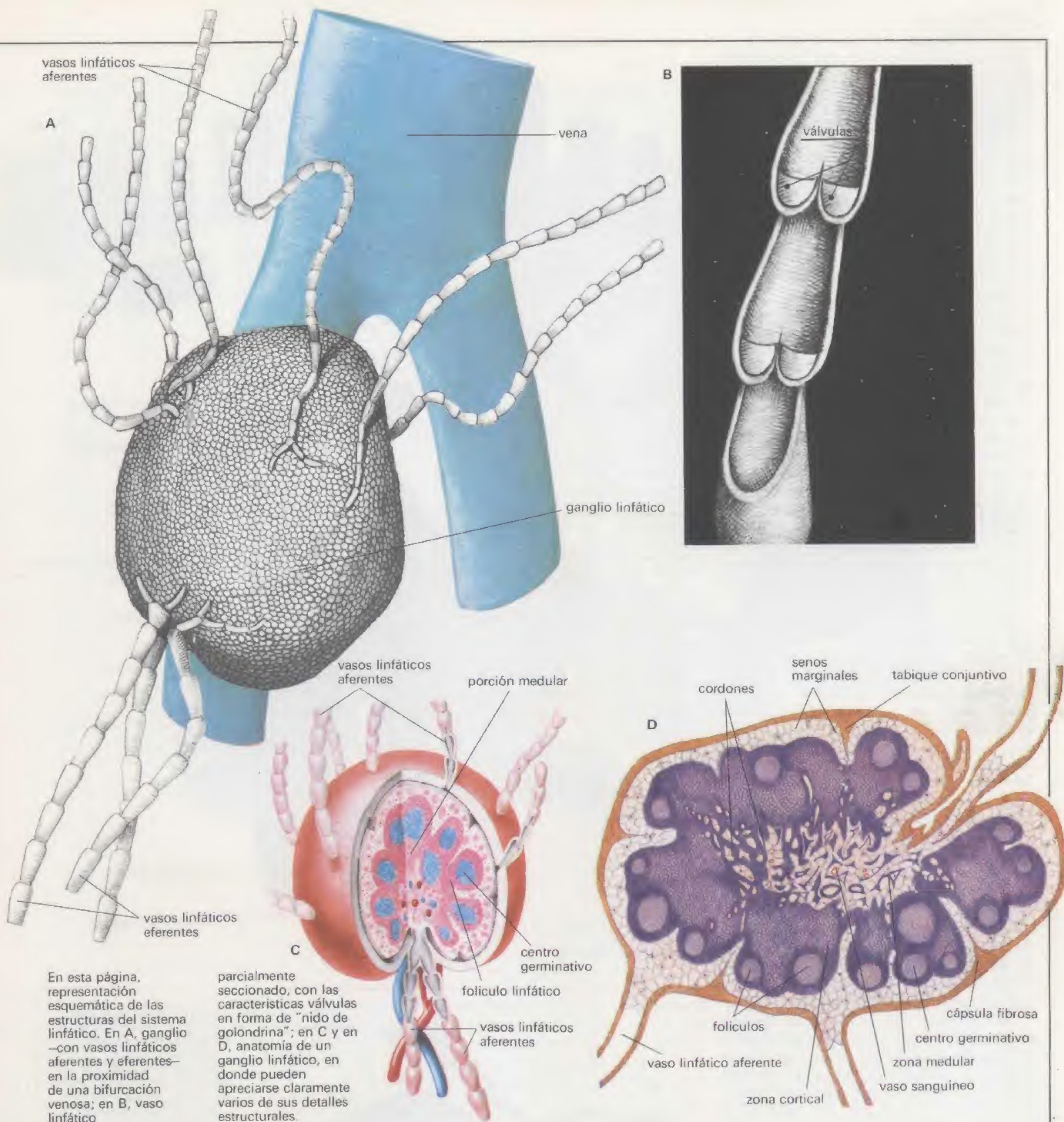
En el curso de este recorrido la linfa pasa a través de una serie de *ganglios linfáticos* que filtran y eliminan los microorganismos y otras sustancias de desecho

estrato mucoso de la epidermis, no poseen circulación sanguínea, las sustancias nutritivas necesarias les llegan mediante la circulación de la linfa. Esta es la razón por la que, en caso de heridas muy superficiales no penetrantes, con frecuencia no se produce hemorragia sino solamente el trasudado de un líquido claro, que es precisamente la linfa.

Los ganglios linfáticos Los ganglios o nódulos linfáticos son pequeñas estructuras nodulares del sistema linfático situadas

en los puntos en los que se llevan a cabo operaciones de filtrado; están constituidas por una cápsula de tejido conjuntivo que rodea completamente el ganglio, y se dividen en varios sectores o lóbulos. Estos ganglios linfáticos —sobre todo los situados en el cuello, en la cavidad axilar y en la región inguinal— pueden aumentar de tamaño en casos de infección, como consecuencia de la puesta en marcha de los mecanismos orgánicos defensivos.

Las amígdalas son, de hecho, estructuras linfáticas situadas en el punto de ori-



En esta página, representación esquemática de las estructuras del sistema linfático. En A, ganglio —con vasos linfáticos aferentes y eferentes— en la proximidad de una bifurcación venosa; en B, vaso linfático

parcialmente seccionado, con las características válvulas en forma de "nido de golondrina"; en C y en D, anatomía de un ganglio linfático, en donde pueden apreciarse claramente varios de sus detalles estructurales.

gen del tubo digestivo y del aparato respiratorio. Cuando funcionan correctamente, los glóbulos blancos producidos por las amígdalas fagocitan las bacterias invasoras; pero si son víctimas de la infección, se tornan nocivas y deberán ser extirpadas quirúrgicamente.

Los linfomas Los linfomas son tumores caracterizados por una hiperproducción de linfocitos por parte del sistema linfático. El agrandamiento de los ganglios linfáticos y del bazo, es decir, de los órga-

nos que constituyen el sistema linfático, puede constituir un signo diagnóstico de la enfermedad, mientras que en la sangre se puede encontrar un número elevado de linfocitos. Es conveniente notar que muchas enfermedades infecciosas son capaces de provocar signos físicos de este tipo, por lo que a menudo es muy difícil hacer un diagnóstico diferencial. Algunos opinan que la causa de los linfomas, e incluso de otras formas de cáncer, puede ser un virus capaz de estimular la reproducción incontrolada de las células. Los

linfomas constituyen un trastorno tumoral frecuentemente mortal, si bien la introducción de nuevos fármacos desarrollados en las últimas dos décadas ha permitido curar a muchas personas. Resulta impresionante observar cómo el mismo sistema orgánico que normalmente nos protege contra las infecciones puede transformarse en uno de nuestros peores enemigos.

Véase **Circulatorio, sistema; Inmunidad**

Linterna

Al llegar a casa tarde, por la noche, se pueden presentar dificultades para abrir la puerta si la calle o el portal están deficientemente iluminados; pero con una pequeña linterna de llavero se puede encontrar fácilmente el agujero de la cerradura en la oscuridad. Si esa misma situación se hubiera dado en Nueva York en 1898, cuando se vendían las primeras linternas de pilas, se habría necesitado para la misma operación un aparato con el respetable peso de 2,7 kg; en realidad esas linternas se utilizaban únicamente como juegos o curiosidades.

J. Lionel Cowan, inventor del tren de juguete eléctrico, encontró en aquella época una aplicación práctica, aunque bastante limitada, que consistía en utilizar lámparas de pilas para iluminar jarrones de flores decorativos.

La característica común al progreso de la industria manufacturera de linternas es la diversidad de tamaños y potencias de sus productos: una industria moderna puede producir hasta cincuenta tipos distintos de linternas, desde las linternas de bolígrafos hasta linternas de 60 cm de longitud, que pueden proyectar un haz de luz muy potente, y desde las linternas submarinas hasta las intermitentes utilizadas para señalización de emergencia.

En cualquier caso la característica común a todas las linternas es que su fuente de energía es portátil.

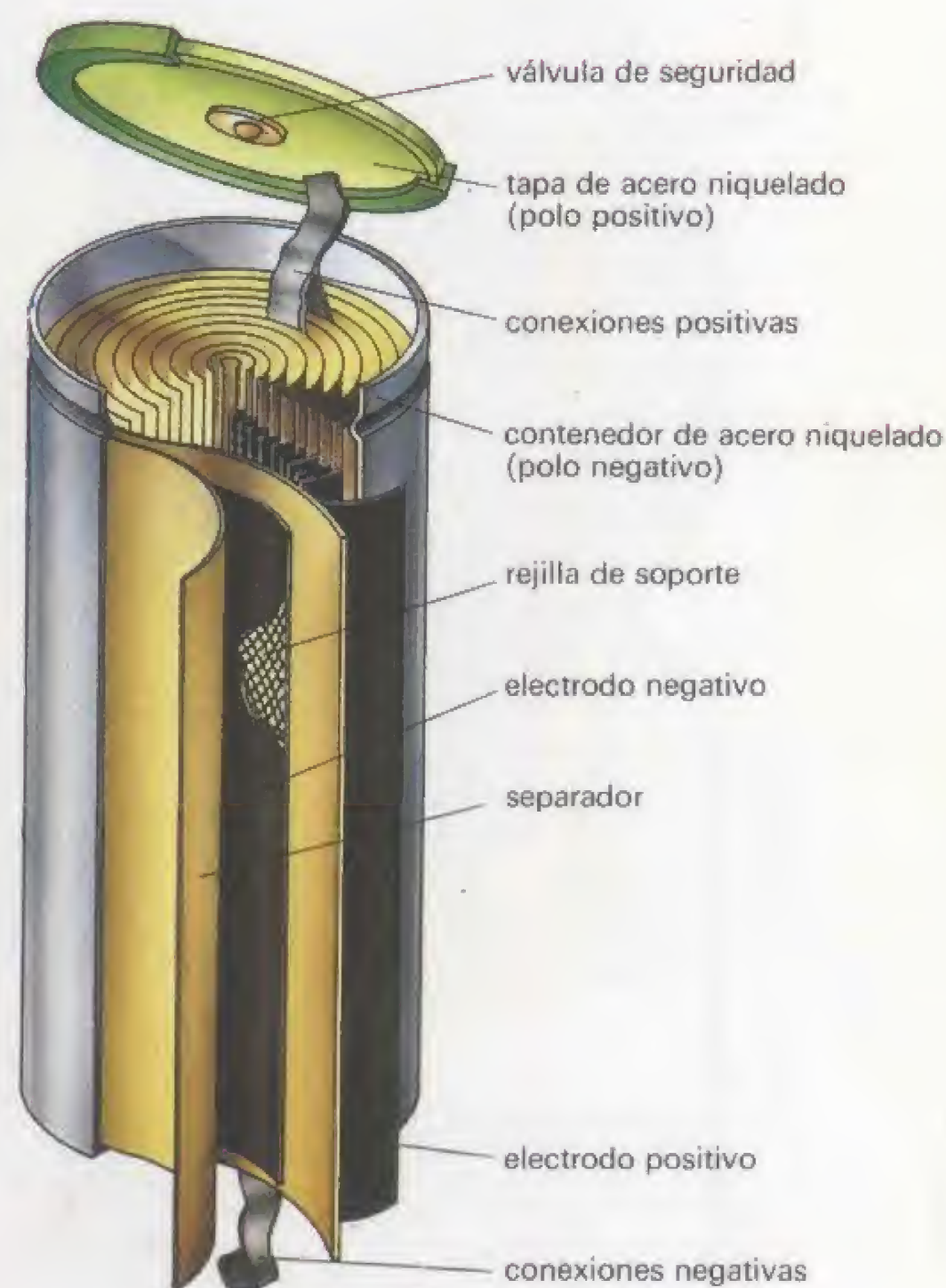
Funcionamiento de una pila La luz de una linterna se produce exactamente igual que cualquier otra luz eléctrica, es decir, con una corriente formada por el movimiento de partículas muy pequeñas con carga negativa, llamadas *electrones*.

En el siglo XIX se descubrió que se podía generar químicamente una corriente eléctrica colocando dos metales distintos, llamados *electrodos*, en una solución salina (*electrolito*) y uniendo sus dos extremos superiores con un hilo metálico. Uno de los dos electrodos, el *ánodo*, es de un metal que tiende a tener un exceso de electrones, mientras que el otro, el *cátodo*, es de un metal que tiende a perder electrones. El conjunto formado por electrodos y electrolito constituye una pila.

Básicamente una pila es un sistema electroquímico que permite transformar la energía química de las reacciones que se producen en los electrodos en energía eléctrica. Si se conectara una bombilla al hilo conductor que une los electrodos, emitiría luz. Sin embargo, una pila de este tipo es poco práctica porque no es portátil, sobre todo debido al líquido electrolítico —ácido— que se puede salir del recipiente y derramarse.

Gracias a las innovaciones que aportó en 1865 el químico francés George Leclanché sobre el tipo anterior de pilas húmedas, se obtuvieron las *pilas secas*. Estas pilas constan de un cilindro compacto, donde se sustituye el electrolito líquido por uno de aspecto pastoso o gelatinoso, que a veces se deseca más añadiendo almidón o yeso.

En el mercado existen muchos tipos de pilas, distintas entre ellas por sus dimensiones, duración y tensión, que satisfacen las diferentes exigencias de utilización: para linternas, casetes, aparatos de cinta y fotografía, calculadoras, pequeños aparatos eléctricos portátiles, etc. Las pilas recargables están encontrando una notable difusión: en el dibujo de la derecha podemos ver su estructura. Láminas de hidróxido de cadmio se alternan con láminas de hidróxido de níquel, separadas por hojas de un material alcalino. Los hidróxidos de cadmio y níquel están sujetos por sinterización a un soporte de rejilla de acero niquelado. Estas pilas son tan ligeras como las otras, no experimentan alteraciones ni deformaciones, son más fiables que las pilas normales y garantizan una tensión constante durante todo el período de descarga.



COMO SE RECARGAN

Para recargar las pilas de níquel-cadmio existen en el mercado aparatos especiales: una vez introducidas las pilas, es suficiente con enchufar el cargador en un enchufe cualquiera y esperar de una a dos horas, dependiendo del tamaño de las pilas. Estos acumuladores se pueden recargar repetidas veces, y tienen aplicación en aparatos científicos con alto consumo de corriente, como los *flashes* electrónicos, aparatos de radio, instalaciones de seguridad y luces de emergencia.

A la derecha, esquema del funcionamiento de una linterna normal: en el tubo se introducen las pilas (una en las más pequeñas, dos, tres..., conectadas en serie entre ellas). Las pilas se mantienen en contacto por la presión del muelle del tapón. El polo positivo de la pila se pone en contacto con la parte metálica de la base del portalámparas, donde está enrollada la bombilla de la linterna.

Al desplazar el interruptor a la posición de encendido, una lengüeta metálica se corre hacia adelante hasta que la toca la parte externa del paraboloide: de esa forma se cierra el circuito eléctrico y se enciende la bombilla. El paraboloide refleja los rayos de luz que difunde la bombilla, formando un haz de luz que sale por el cristal de protección que cierra la linterna.



Aproximadamente el 80% de las pilas actuales para linternas tiene esta estructura, con un núcleo de carbón en el centro, el *cátodo*, rodeado de una superficie de cinc, que forma el *ánodo*.

En el cilindro de una pila, una cubierta metálica con un saliente en el centro conecta el cátodo de carbón con el electrodo de cinc. Aunque normalmente se emplee la palabra "pila", este término indica también el conjunto de dos o más pilas simples. En la linterna suele haber varias pilas (conectadas en serie) con el extremo superior de cada una de ellas en contacto con la parte inferior de otra.

Funcionamiento de una linterna En una linterna, en la base de la bombilla, hay una lámina metálica que está en contacto con el pivote central de la primera pila. El interruptor de la linterna, puesto en posi-

ción de encendido cierra el circuito entre la parte posterior de las pilas y la rosca de la lámpara, sustituyendo al hilo metálico que conecta ánodo y cátodo con la pila de electrolito líquido. En la bombilla, la corriente pasa por un hilo muy fino, enrollado sobre sí mismo, y lo calienta, haciendo que brille por incandescencia. Una superficie parabólica reflectante, situada detrás de la bombilla, concentra la luz en un haz de rayos paralelos.

La acción del electrolito sobre el ánodo de cinc produce una *oxidación* gradual del ánodo, por lo que, al ser un proceso irreversible, estas pilas tienen una vida limitada, recibiendo el nombre de *pilas primarias*. Sin embargo, los fabricantes continúan aportando mejoras tecnológicas a las pilas que retrasan el proceso de oxidación y refuerzan el recubrimiento contra las pérdidas y la corrosión, aunque si-

guen teniendo una duración excesivamente corta.

Actualmente también existen en el mercado algunos tipos de pilas (por ejemplo, las de níquel-cadmio) que se pueden recargar, funcionando como acumuladores y evitando tener que cambiarlas cada cierto tiempo.

Véase **Acumulador; Bombilla; Electricidad; Electroquímica; Pila de combustible; Pila galvánica**

Liofilización

Un buen ejemplo de producto liofilizado —es decir, sometido a un complicado proceso de conservación— es el café instantáneo liofilizado, extendido por todo el mundo; de hecho, el café ha sido uno de los primeros productos comerciales sometido a este proceso.

El proceso de liofilización fue desarrollado y alcanzó un alto grado de perfeccionamiento durante la II Guerra Mundial, en que se utilizó para conservar el plasma sanguíneo.

La liofilización se basa en un método que elimina prácticamente toda la humedad contenida en un alimento o en otro tipo de sustancia, mediante la congelación del agua que contiene y su posterior eliminación por sublimación. La separación del agua, o deshidratación, impide el crecimiento de microorganismos, que son generalmente los causantes de los procesos de deterioro de los productos. De esta forma los alimentos se pueden conservar y transportar a temperatura ambiente. La liofilización parece ser, de entre todas las técnicas de conservación de alimentos —incluidas el enlatado, la conservación en salmuera y la deshidratación a alta temperatura—, la que ofrece mayores garantías por lo que respecta a la calidad del producto, ya que, al no modificar la estructura molecular de sus componentes, puede

conservar incluso los aromas característicos de un alimento.

Principios de la liofilización Los líquidos son los productos más fáciles de liofilizar. El café puede ser un buen ejemplo de explicación del proceso. La infusión de café, constituida por agua y partículas sólidas en disolución, se introduce en un congelador normal, donde se mantiene hasta que se congela totalmente. El café, mantenido en estado de congelación, se granula posteriormente y se introduce en una cámara de vacío especial.

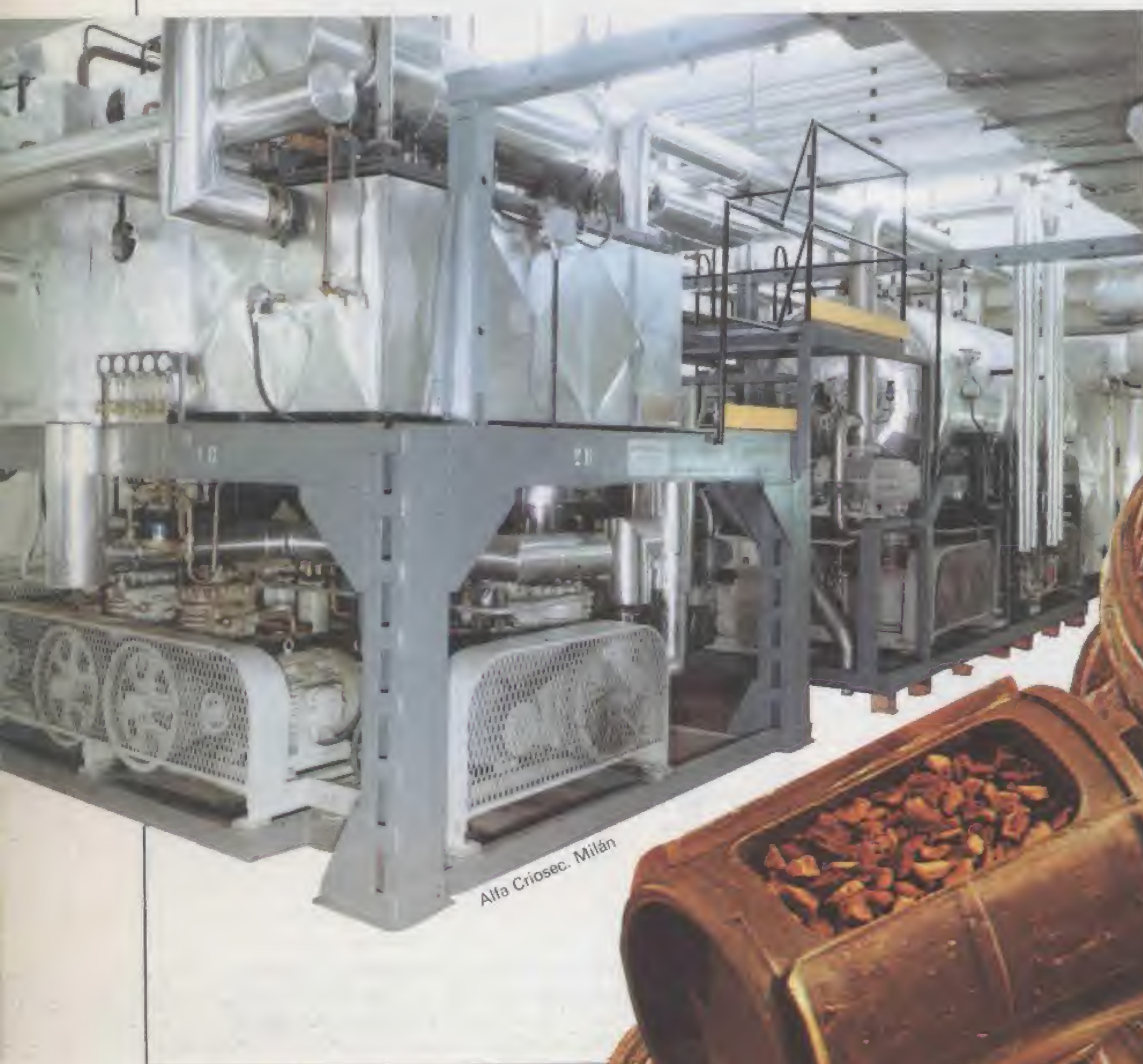
Mientras la presión atmosférica normal en un tubo de vidrio es de 760 mm de mercurio, la presión dentro de la cámara de vacío es muy baja, algunas veces tan sólo de 100 micras de mercurio (1 micra equivale a 1 millonésima de metro, es decir, 0,001 mm). Esta presión está por debajo de la correspondiente al *punto eutéctico* del agua, es decir, aquel punto cuyos valores de presión atmosférica y temperatura son tales que las tres formas físicas del agua (hielo, agua y vapor) pueden existir simultáneamente.

Sublimación Cuando se alcanzan estas condiciones, se suministra una pequeña cantidad de calor a los gránulos de café, produciéndose entonces el proceso

conocido como *sublimación*, que consiste en el paso directo de una sustancia en estado sólido a estado de vapor sin pasar a través del estado líquido. Un ejemplo común de sublimación a presión atmosférica es el "humo" del hielo seco, que pasa directamente de sólido a vapor.

Al café le ocurre exactamente lo mismo en la cámara de vacío: la parte acuosa del café congelado, calentada débilmente al vacío, pasa de hielo a vapor, que se puede extraer fácilmente por aspiración. Una de las ventajas de la liofilización es que el proceso, que se desarrolla a bajas temperaturas de calentamiento y al vacío, reduce al mínimo las posibilidades de modificaciones estructurales en el alimento durante la deshidratación. Este hecho no sólo protege los aromas, sino que hace al producto liofilizado muy poroso, permitiendo una fácil reconstitución del producto inicial al añadirle agua.

Aplicaciones Los líquidos como el café y los zumos se pueden liofilizar en aproximadamente 4 horas. Los productos semisólidos, como las sopas y los estofados, necesitan hasta 12 horas, como consecuencia de la presencia de sólidos no disueltos (pequeños trozos de carne y verduras). Una aplicación muy utilizada es la liofilización de alimentos para excursio-



A la izquierda, vista parcial de una planta de liofilización de productos farmacéuticos. Se trata de grandes recipientes en los que el producto se coloca sobre unas bandejas, situadas a su vez en unos estantes cuyo fondo puede refrigerarse o calentarse ligeramente. Los recipientes se cierran herméticamente al

vacío, mientras el producto se enfría hasta alcanzar cerca de treinta grados bajo cero. El vacío provoca la sublimación del agua contenida en el producto, impidiendo que éste se degrade. Debajo, café liofilizado listo para ser comercializado. El envasado debe asegurar que no se produzca contacto con el aire, ya que la

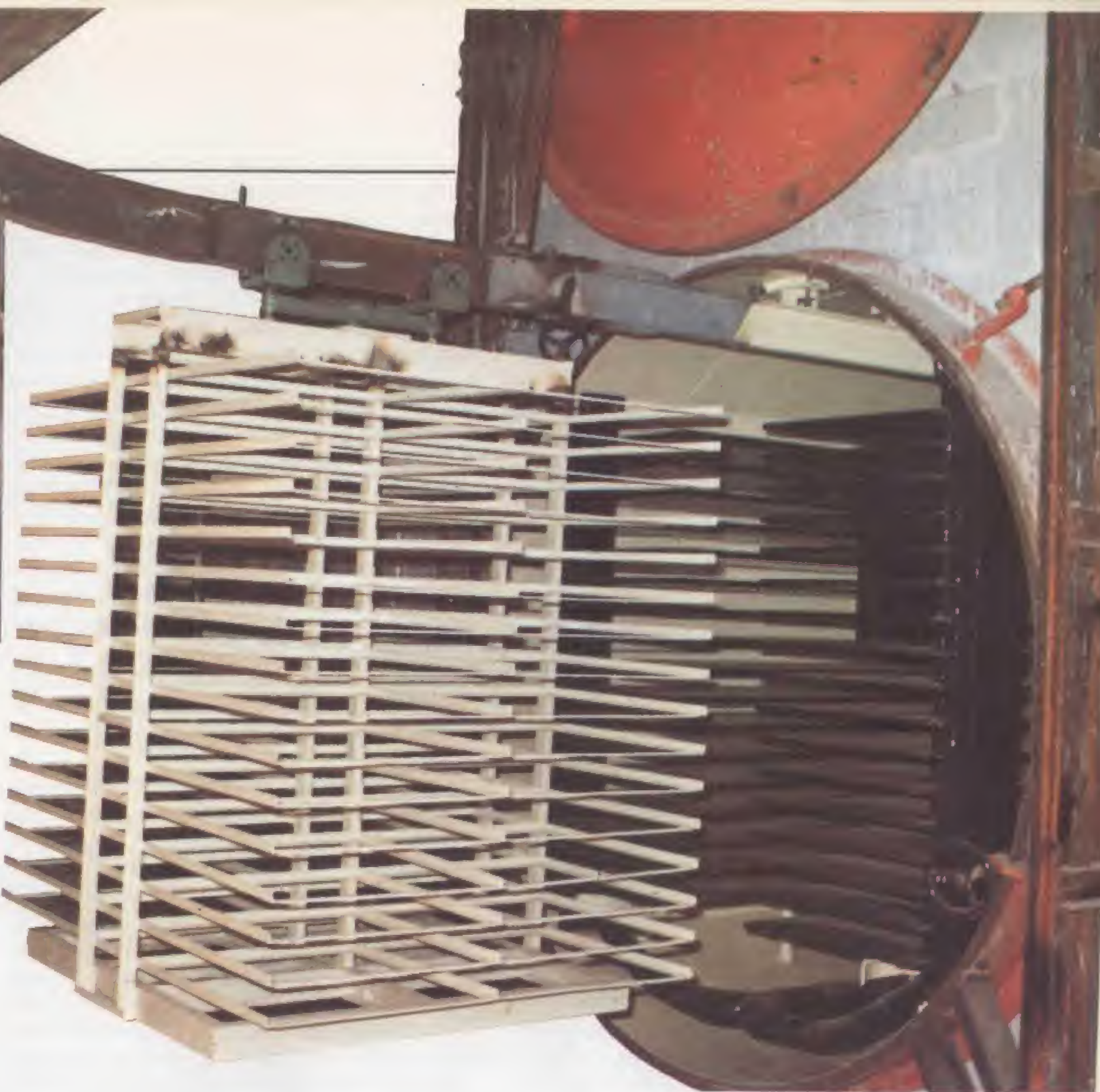




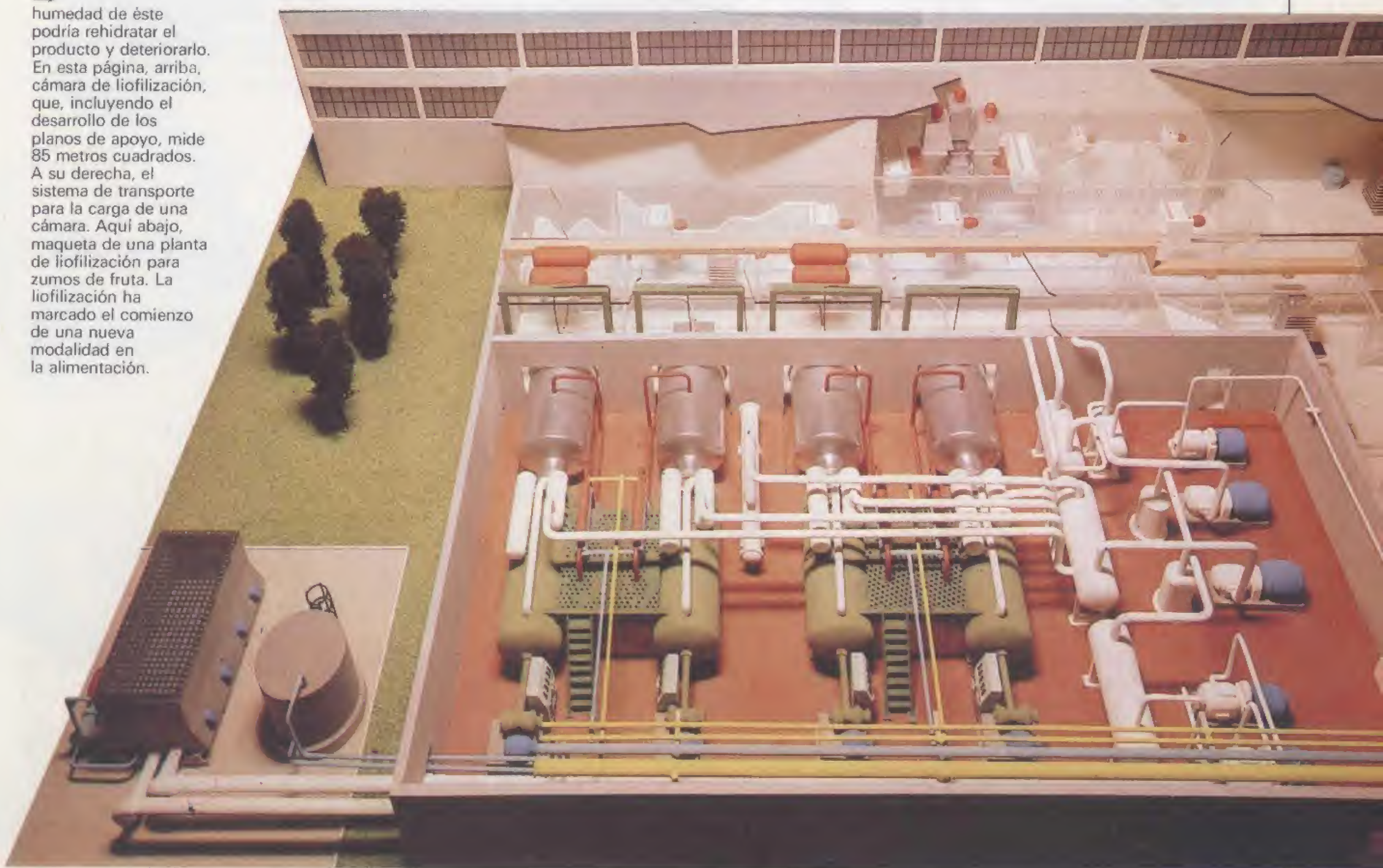
nes y acampadas, ya que resultan ligeros de transportar, poco voluminosos y fáciles de reconstituir en agua hirviendo.

La liofilización es muy importante en la preparación de productos farmacéuticos, incluidos los antibióticos y las vacunas. La utilización de bajas temperaturas de calentamiento en vacío permite deshidratar los medicamentos con un riesgo mínimo de alteración de la estructura de los principios farmacológicos activos.

Véase **Alimentos, temperatura de conservación**



→ humedad de éste podría rehidratar el producto y deteriorarlo. En esta página, arriba, cámara de liofilización, que, incluyendo el desarrollo de los planos de apoyo, mide 85 metros cuadrados. A su derecha, el sistema de transporte para la carga de una cámara. Aquí abajo, maqueta de una planta de liofilización para zumos de fruta. La liofilización ha marcado el comienzo de una nueva modalidad en la alimentación.



Lípidos

Entre grasa y aceite, a pesar del aspecto distinto, no existen importantes diferencias de tipo químico: ambos tipos de sustancias son ésteres de ácidos grasos. El aceite permanece líquido a temperatura ambiente (20 °C), mientras que la grasa se mantiene sólida. Es posible conseguir el cambio de estado físico de uno en la otra elevando o bajando la temperatura simplemente. Las grasas, un tipo de lípidos, constituyen uno de los tres componentes esenciales de los alimentos, siendo los otros dos los glúcidos y los proteínas.

Prácticamente todas las células del cuerpo contienen grasas, las cuales son frecuentemente definidas como un "almacén natural de energía", ya que, por oxidación en los procesos de metabolismo, liberan más energía que las proteínas y los glúcidos. Sirven también como agente protector contra el frío y los golpes.

Historia Los testimonios más antiguos sobre las grasas y los aceites se remontan al año 1400 a. de C, cuando se fabricaban ungüentos con grasa y cal juntamente con otros elementos. Pero se sabe que algunas pinturas rupestres de épocas prehistóricas se obtenían mezclando grasas animales con pigmentos de origen mineral. Los antiguos egipcios untaban las paredes e impermeabilizaban las naves y los sarcófagos con recubrimientos derivados de materias grasas. Uno de los más difundidos usos primitivos de las grasas es la fabricación de velas y de aceite para lámparas. Las sustancias grasas tuvieron un papel muy importante en el desarrollo del arte de la pintura. Pinturas hechas con aceite de linaza y resinas se utilizaban como recubrimientos protectores. El uso comercial de las grasas empezó como consecuencia del descubrimiento de su naturaleza química. En el año 1869, Napoleón III ofreció un premio al inventor de un sucedáneo aceptable de la mantequilla: la margarina. A partir de la I Guerra Mundial los descubrimientos sobre las propiedades químicas de las grasas han producido el rápido desarrollo de la industria y el invento de centenares de nuevas sustancias.

Los usos de las grasas Las grasas se extraen bien de los animales, bien de las plantas, de casi 20 especies en total. Hay una cantidad tan grande de grasas en los tejidos —tanto de las plantas como de los animales— que no parece posible que su única función sea la de suministrar alimento y energía a las células. Esto es particularmente cierto en las plantas cuyos frutos contienen gran cantidad de aceite, como el aguacate y el olivo.

En las plantas, las grasas se forman en la fase final del proceso de maduración y sirven como fuente primaria de alimentación. Azúcares y almidones están presentes en gran cantidad en las frutas acerbas, pero después, durante la maduración, actúan sobre ellas unos enzimas (proteínas que catalizan reacciones químicas) y al fi-

nal se transforman en grasas. Sustancias grasas y cerosas son segregadas también por las hojas de muchas plantas para retener el agua en los tejidos. Las grasas y los aceites cumplen muchas otras funciones, necesarias tanto para los animales como para el hombre. En los animales sirven como capa de protección contra el frío, y contribuyen también a mantener sano el pelo y a prevenir las enfermedades de la piel. También en el hombre la grasa sirve como protección contra el frío. Generalmente las mujeres tienen más grasa en el cuerpo que los hombres. La cantidad y la calidad de la grasa varían según la dieta: los cerdos y otros animales que son alimentados con aceite de hígado de pescado producen grasas de consistencia y sabor parecidos al mismo; también las vacas producen grasas en la leche similares a las grasas contenidas en su dieta.

Las grasas son digeridas por intervención del enzima *lipasa*, que es producido por el páncreas y por la bilis (un líquido amarillento segregado por el hígado). Aunque existen distintas teorías sobre lo que ocurre a las grasas en el cuerpo, se supone generalmente que son absorbidas en las vellosidades del intestino delgado (diminutas e innumerables protuberancias en forma de "dedos" que colaboran en el proceso de digestión). Se piensa también que las grasas están ligadas al proceso de endurecimiento de las arterias o arteriosclerosis.

Tipos de grasas Las grasas y los aceites están compuestos sobre todo de ésteres de la glicerina con ácidos grasos, y se denominan *glicéridos*. Las grasas animales derivan, en su mayoría, de ácidos grasos saturados, mientras que los aceites vegetales son en su mayoría ésteres de ácidos grasos insaturados.

Las grasas saturadas son las que contienen solamente enlaces simples entre los átomos de carbono, y tienen una temperatura de fusión alta. Las grasas insaturadas presentan uno o dos enlaces dobles entre dos átomos de carbono; son químicamente más reactivas, y tienen puntos de fusión bajos.

Las grasas se pueden clasificar en *vegetales* y *animales*. Las grasas animales se destinan para usos alimenticios y a la fabricación de jabón, velas y productos químicos. Incluyen el tocino, la manteca, la mantequilla y el sebo. Existe también un tipo de grasa animal, conocida como *aceite de pescado*, que es extraído de las ballenas y de peces tales como la sardina, el bacalao y el tiburón.

Estas grasas tienen usos distintos, tales como la fabricación de vitaminas, de aceites lubricantes y también el curtido de pieles.

Ejemplos de aceites vegetales son los siguientes:

1. *Aceites secantes*. Se utilizan para fabricar barnices y comprenden el aceite de linaza y el de la madera (*tung*).

2. *Aceites semisecantes*. Comprenden

los aceites de semilla de soja, de maíz, semillas de algodón, de cártamo y de sésamo, que se emplean como alimento y para fabricar jabón, pinturas y resinas.

3. *Aceites no secantes*. Los aceites de aráquidas, oliva, almendra y ricino son ejemplos de este tipo, y se utilizan como alimento y para fabricar jabón y medicamentos.

Las grasas vegetales comprenden también el aceite de coco y la manteca de cacao.

Extracción y tratamiento Existen tres técnicas principales para extraer las grasas de los tejidos animales, frutos carnosos, frutos secos y semillas.

1. *Fusión*. Para extraer la grasa de los subproductos animales, el método usual consiste en hacerlos hervir y desespumar la grasa que se separa. Un rendimiento más elevado y una calidad mejor pueden también obtenerse por centrifugación.

Para ello se emplea un dispositivo que utiliza la fuerza centrífuga. El aceite o la grasa fundida se echa en un recipiente cilíndrico que gira a gran velocidad en torno a su eje: los distintos componentes se disponen radialmente según su densidad. Un método bastante primitivo de extracción de la grasa de frutas carnosas, como el coco y la oliva, es todavía utilizado en algunos lugares. Consiste en amontonar las frutas en gran cantidad en un lugar soleado y recoger al cabo de cierto tiempo el aceite que trasuda gradualmente.

2. *Prensado*. Este método es utilizado para extraer el aceite de semillas y frutos secos, los cuales son machacados y fuer-

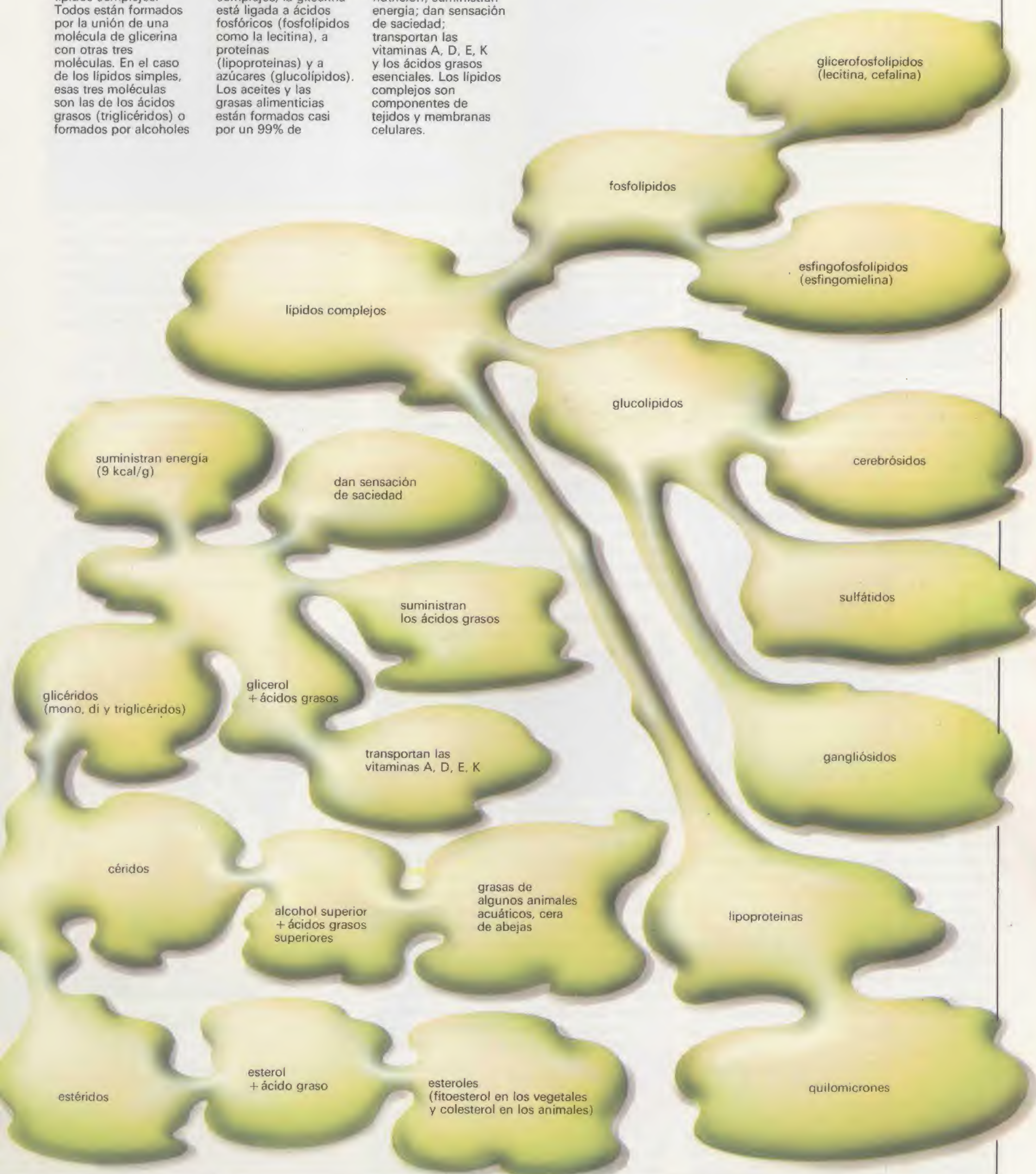


lípidos simples

Con relación a su estructura química, las sustancias grasas se pueden dividir en lípidos simples y lípidos complejos. Todos están formados por la unión de una molécula de glicerina con otras tres moléculas. En el caso de los lípidos simples, esas tres moléculas son las de los ácidos grasos (triglicéridos) o formados por alcoholes

de larga cadena (céridos) o por esteroides (colesterol y fitosteroides). En los lípidos complejos, la glicerina está ligada a ácidos fosfóricos (fosfolípidos como la lecitina), a proteínas (lipoproteínas) y a azúcares (glucolípidos). Los aceites y las grasas alimenticias están formados casi por un 99% de

triglicéridos, es decir, por ésteres de la glicerina con ácidos grasos; tienen distintas funciones en la nutrición; suministran energía; dan sensación de saciedad; transportan las vitaminas A, D, E, K y los ácidos grasos esenciales. Los lípidos complejos son componentes de tejidos y membranas celulares.





temente prensados. En algunos países subdesarrollados se utiliza todavía el mortero y la maza (mano), pero las técnicas modernas utilizan unas prensas capaces de ejercer presiones entre 750 y 2.250 kilogramos por cm²; el aceite obtenido sale a través de unos agujeros del aparato. Antes de ser exprimidos, las semillas y los frutos secos se hacen pasar a través de aparatos magnéticos que eliminan todas las partículas metálicas. Posteriormente se lavan y se someten a un proceso de trituración hasta conseguir una pasta, que se amasa y prensa. Como resultado se obtiene el aceite virgen, listo ya para la alimentación. La industria moderna somete ese aceite a posterior refinado, obteniendo así aceite de diversa calidad y distintos grados de acidez.

3. Extracción por disolventes. Los frutos secos y las semillas, una vez exprimidos, forman una pasta que contiene todavía del 3% al 15% de aceite. Si el aceite es muy valioso y resulta económica su extracción, se someten los desechos de la prensa a un lavado con disolventes (generalmente hidrocarburos volátiles), que después se separan del aceite por destilación. También pueden separarse esos aceites por arrastre con vapor de agua. El aceite se separa posteriormente del agua y se somete a refinado. Este método resulta muy económico cuando se tratan grandes cantidades de desechos. La extracción por disolventes ha sido aplicada inicialmente en Europa y después ha encontrado gran utilización en América del Norte. La elaboración del aceite obtenido puede ser simple o compleja, según el tipo de aplicación a que se destine. Los aceites vírgenes, como por ejemplo el de oliva, aráquida, coco y girasol, son tan puros que pueden ser utilizados como alimento después de un simple proceso de filtración. Dado que existe una fuerte demanda de aceites sin sabor y de grasas para pastelería, algunos productos son refinados y decolorados antes de ser puestos a la venta. La lejía, la sosa cáustica y el amoníaco son utilizados como agentes de refinación para dar al aceite un gusto ligero y para mejorar su color. Otros métodos de refinación incluyen el uso del ácido sulfúrico, vapor a alta presión y mezcla con agua seguida de centrifugación. El decolorado se puede

obtener con el uso de tierra de batán, carbón activo o arcilla, o por medio de calentamiento. A menudo el aceite refinado es transformado de líquido en aceite "sólido" o grasa (margarina), sufriendo un proceso de hidrogenación por medio del cual, con la adición de hidrógeno, las grasas insaturadas se convierten en grasas saturadas de aspecto similar al del tocino. Ya que la mayoría de las grasas vegetales tiene un olor muchas veces desagradable, estos productos se tratan nuevamente: la desodorización se obtiene inyectando vapor en el aceite, sometido a alto vacío; de esta manera se elimina el olor fuerte y característico. El aceite de semilla de algodón, que tiene sabor y olor muy fuertes, se trata normalmente con vapor, contrariamente a lo que pasa con el aceite de oliva que es preferentemente consumido y saboreado al natural.

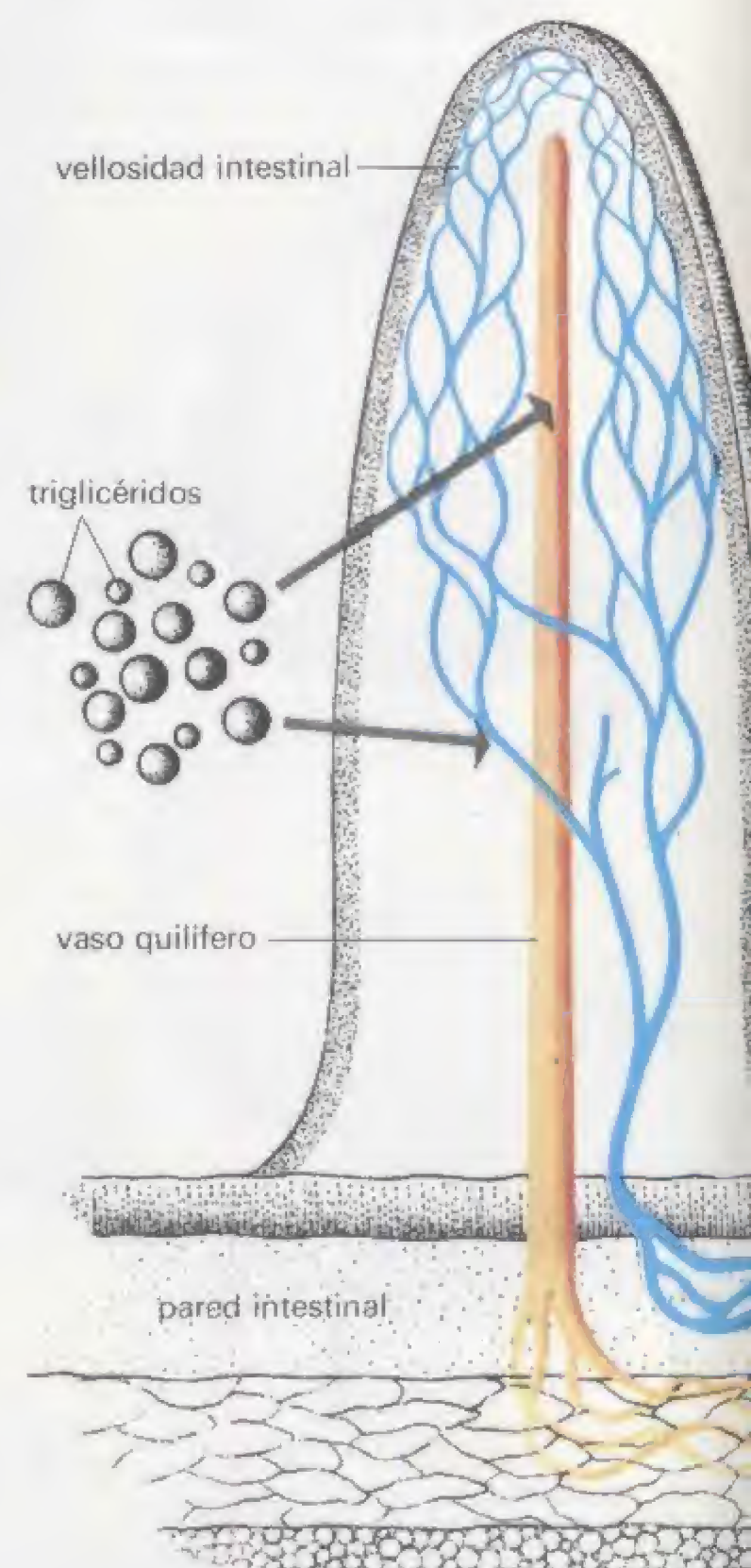
Aplicaciones variadas Sería demasiado largo enumerar todos los usos de las grasas, pero pueden citarse algunos principales. En primer término, naturalmente, las grasas son transformadas para usos alimenticios, como el aceite para condimentación, las grasas para cocinar y para pastelería, etcétera.

Tradicionalmente, las grasas eran utilizadas también para producir jabones, pero ahora se emplean productos petroquímicos. Lo mismo puede decirse de las velas, que ahora son en gran parte fabricadas a partir de derivados del petróleo. Aceites y grasas se utilizan todavía para curtido de las pieles y en la industria textil. Algunos aceites se emplean para la producción de fármacos. El aceite de ricino (de las semillas de la planta de ricino) es utilizado como laxante, y los aceites de pescado son comercializados como vitaminas A y D. Los aceites de almendra y oliva son usados ampliamente en farmacología. Una de las aplicaciones más importantes de las grasas y de los aceites es la preparación de pinturas y barnices, para lo que se emplea especialmente el aceite de lino, algodón y soja.

El consumo En los países de la Europa mediterránea, el consumo de sustancias grasas está constituido en un 80% por aceite (grasas filtradas). Las costumbres

Los triglicéridos resultan de la unión (el término químico exacto es esterificación) de glicerina con tres ácidos grasos. La distribución de los ácidos grasos en la molécula del triglicérido no es casual, sino que probablemente está regulada por factores genéticos. Los ácidos grasos están formados por una cadena más o

menos larga de átomos de carbono: cuando éstos son entre 4 y 8, los ácidos grasos son de cadena corta, cuando son entre 10 y 14, de cadena media, y entre 16 y 20, de cadena larga; si los átomos de carbono son más de 20, entonces tenemos que hablar de grasas de cadena larguísima, típicas de algunos aceites de pescado.



de los consumidores se han formado en función de la disponibilidad del aceite de oliva, cultivo típico del área mediterránea.

En España se está ampliando notablemente el mercado de los aceites de semillas. La creciente preferencia hacia este tipo de aceite es debida a la competencia de su precio respecto al aceite de oliva. El olivo, en efecto, es un árbol que requiere decenas de años para alcanzar la plena producción; sus frutos, las aceitunas, todavía son recogidos a mano. Por estos motivos el aceite de oliva resulta el más costoso, sin considerar que muchos aceites de semilla y otras grasas animales son subproductos de otras elaboraciones (como, por ejemplo, el aceite de maíz, de soja, de pepitas de uva y los aceites derivados de animales marinos). Sin embargo, el mayor costo del aceite de oliva es compensado por sus mejores características organolépticas, que hacen de él un condimento muy sabroso, de sabor inimitable y muy digerible.

Las sustancias grasas son muy utilizadas por el hombre: la mayor parte es destinada a la industria aceitera, que las transforma en sustancias para uso alimenticio directo; otra parte notable está destinada a usos no alimenticios. Por ejemplo, la industria farmacéutica utiliza aceites y grasas como fármacos (aceites de hígado de bacalao y de ricino), como vehículo de principios activos solubles en sustancias grasas, o para la preparación de cremas y pomadas.

APLICACIONES INDUSTRIALES DE LAS SUSTANCIAS GRASAS

- Alimentación humana y animal
- Producción de ácidos grasos (emulsiones, aditivos, etc.)
- Jabones y detergentes
- Lubricantes
- Fármacos
- Barnices
- Cosméticos
- Otros productos

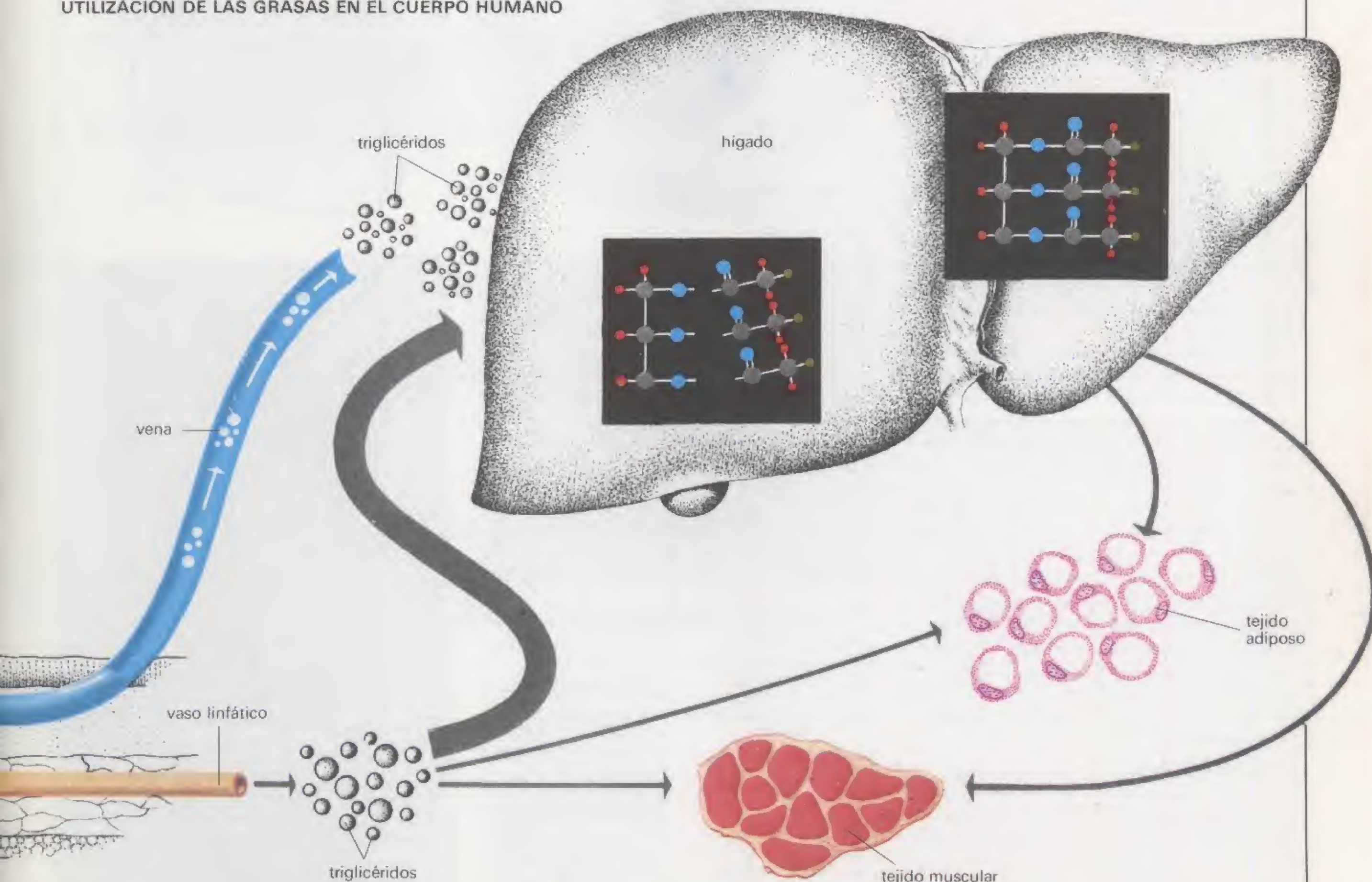
El proceso de la digestión de las grasas (abajo) es el paso previo para su utilización por parte del cuerpo humano. La rotura del enlace que liga los triglicéridos se obtiene por medio del enzima lipasa. En el hombre hay dos enzimas lipasa activos, uno gástrico y otro pancreático, éste mucho más activo que el otro. La acción del

enzima es facilitada por la presencia de los ácidos biliares. Los productos de la escisión son absorbidos por las paredes de las vellosidades intestinales a través de un proceso pasivo. En el interior de las células epiteliales del intestino los productos de la escisión son nuevamente sintetizados como

triglicéridos, los cuales son transportados en ciclo por los vasos linfáticos. Estos triglicéridos van a ser nuevamente escindidos por un enzima, y los ácidos grasos liberados son absorbidos por los tejidos, que los utilizan para la producción de energía y para la biosíntesis de otros componentes o bien quedan almacenados en el tejido adiposo.

Véase Alimentación y nutrición; Colesterol; Digestión; Disolvente; Jabón; Mantequilla; Margarina

UTILIZACION DE LAS GRASAS EN EL CUERPO HUMANO



Litio

NOMBRE	LITIO
SÍMBOLO	Li
ETIMOLOGÍA DEL NOMBRE Y DEL SÍMBOLO	del griego <i>λίθος</i> , "de piedra"
N. ATÓMICO	3
PESO ATÓMICO	6,939
ESTADO NATURAL	en los minerales espodumeno, lepidolite, petalita; en el agua del mar, en el suelo y en el cuerpo humano
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	J. A. Arfvedson (1817)
PRODUCCIÓN	de los minerales por flotación y tratamiento ácido o básico
P.f. (°C)	186
P.eb (°C)	1.336
PESO ESPECÍFICO O DENSIDAD	0,534
COLOR	blanco plateado
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal usado en metalurgia para aleaciones especiales; algunos compuestos sirven para la fabricación de esmaltes y porcelanas.

El litio es el elemento sólido más ligero a temperatura ordinaria. Podría flotar sobre el agua, pero, dada su gran reactividad, reacciona rápidamente con ella. Se encuentra moderadamente abundante en la corteza terrestre, en aproximadamente 65 partes por millón.

Metales alcalinos El litio forma parte de la familia de los metales alcalinos: un grupo de elementos en el que cada miembro presenta propiedades químicas similares a los otros. Tal familia comprende también el sodio, el potasio, el rubidio, el cesio y el francio. Estos elementos son metales blandos, de color blanco-plateado, que tienen todos el mismo comportamiento químico (las cualidades del francio son desconocidas, puesto que tal elemento no se ha observado nunca en cantidades apreciables, tratándose de un elemento radiactivo).

En la tabla periódica de elementos, desarrollada por el químico ruso Mendeleiev, y sobre la cual se clasifican sistemáticamente los elementos, los miembros de una misma familia se sitúan sobre una única columna vertical. En las tablas modernas los metales alcalinos están situados a la izquierda, en el grupo 1a. Una característica común a todos los metales alcalinos es su extrema reactividad química. En particular, el litio se combina muy fácilmente con el oxígeno. Su intenso brillo es raramente observable, ya que, cuando se expone al aire, el litio se oxida rápidamente. Para mantenerlo puro o no oxidado es necesario conservarlo en un aceite mineral que no contenga oxígeno, como el keroseno.

Actividad química La actividad química de un material viene determinada por la estructura de sus átomos. Un átomo está compuesto por un cierto número de minúsculas partículas dotadas de carga negativa —*electrones*— que gira alrededor de un núcleo de partículas dotadas de

carga positiva —*protones*— y de partículas neutras —*neutrones*—, sin carga. La disposición de los electrones alrededor del núcleo determina la fuerza con la cual un átomo tiende a unirse o a reaccionar químicamente con otro átomo o grupo de átomos.

Los electrones tienden a disponerse según agrupamientos llamados *niveles energéticos*. En cada uno de estos niveles se puede encontrar sólo un número determinado de electrones: dos en el primer nivel, ocho en el segundo, etc. En el nivel más exterior se sitúan los electrones de valencia, responsables de los enlaces químicos entre los átomos. El número máximo de electrones en el último nivel es de ocho, en cuyo caso el elemento adquiere estructura estable de gas inerte, siendo su actividad química prácticamente nula.

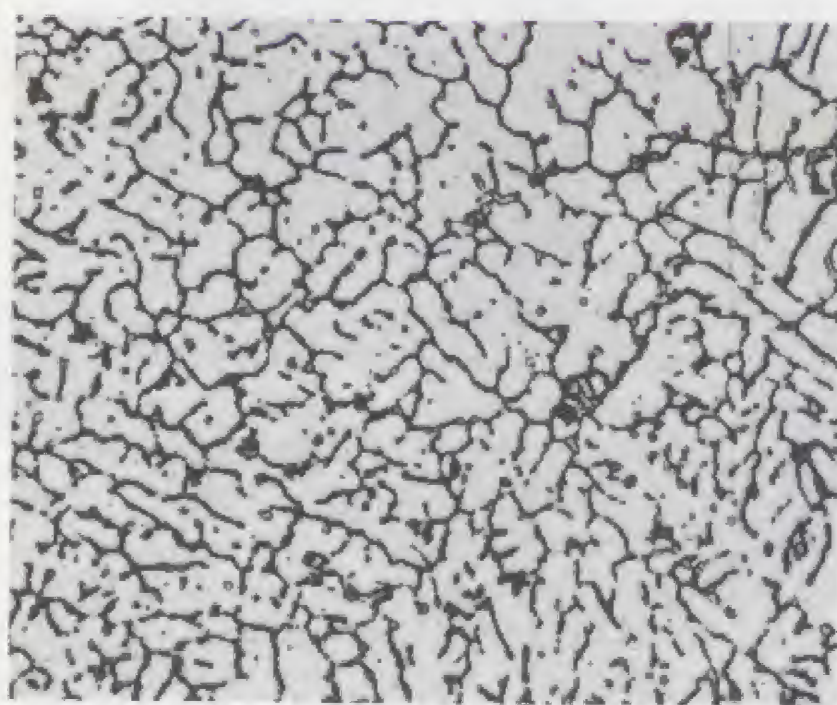
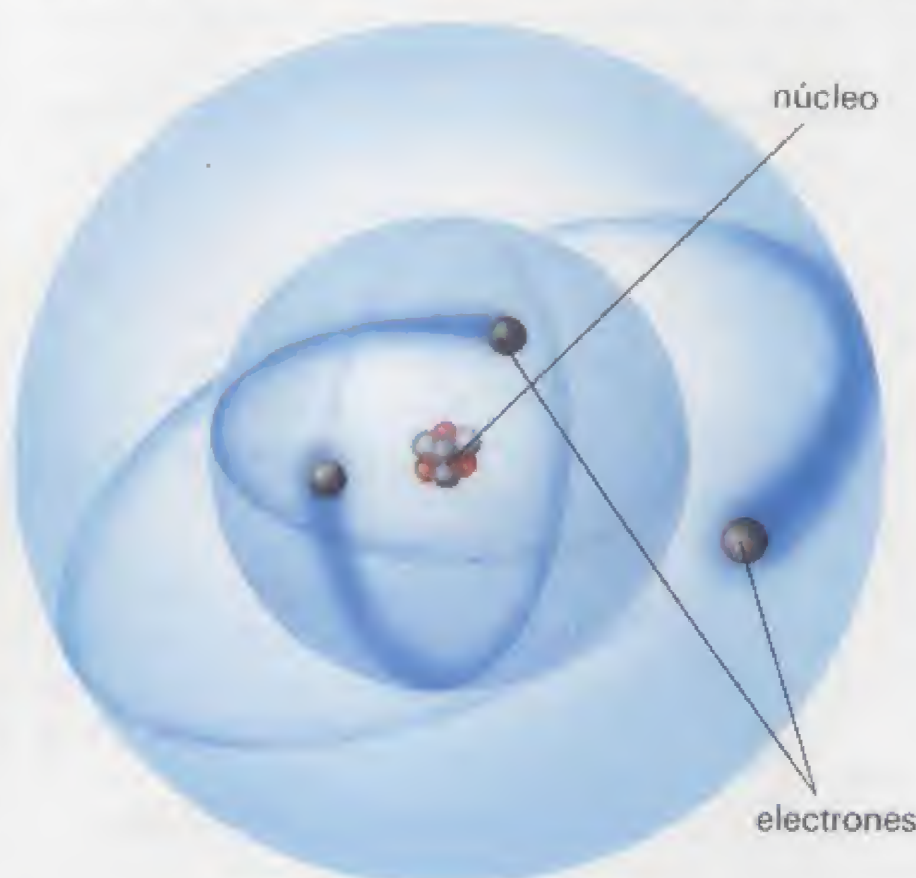
Pero cuando, como en el caso del litio y de los otros metales alcalinos, el nivel más exterior contiene un solo electrón, el

átomo es muy activo debido a la tendencia a ceder ese único electrón para adoptar una estructura más estable, la del gas inerte inmediatamente anterior en la tabla periódica.

Aplicaciones Debido a su actividad química, el litio puro no se encuentra en la Naturaleza; sus compuestos, en cambio, se hallan en el suelo, en las plantas, en los animales y en el cuerpo humano.

Muchos compuestos del litio han encontrado numerosas aplicaciones en la industria. Estos se utilizan en la fabricación de algunos vidrios y cerámicas especiales; por ejemplo, el litio es uno de los elementos del espejo del gran telescopio Hale instalado en el observatorio de Monte Palomar (California).

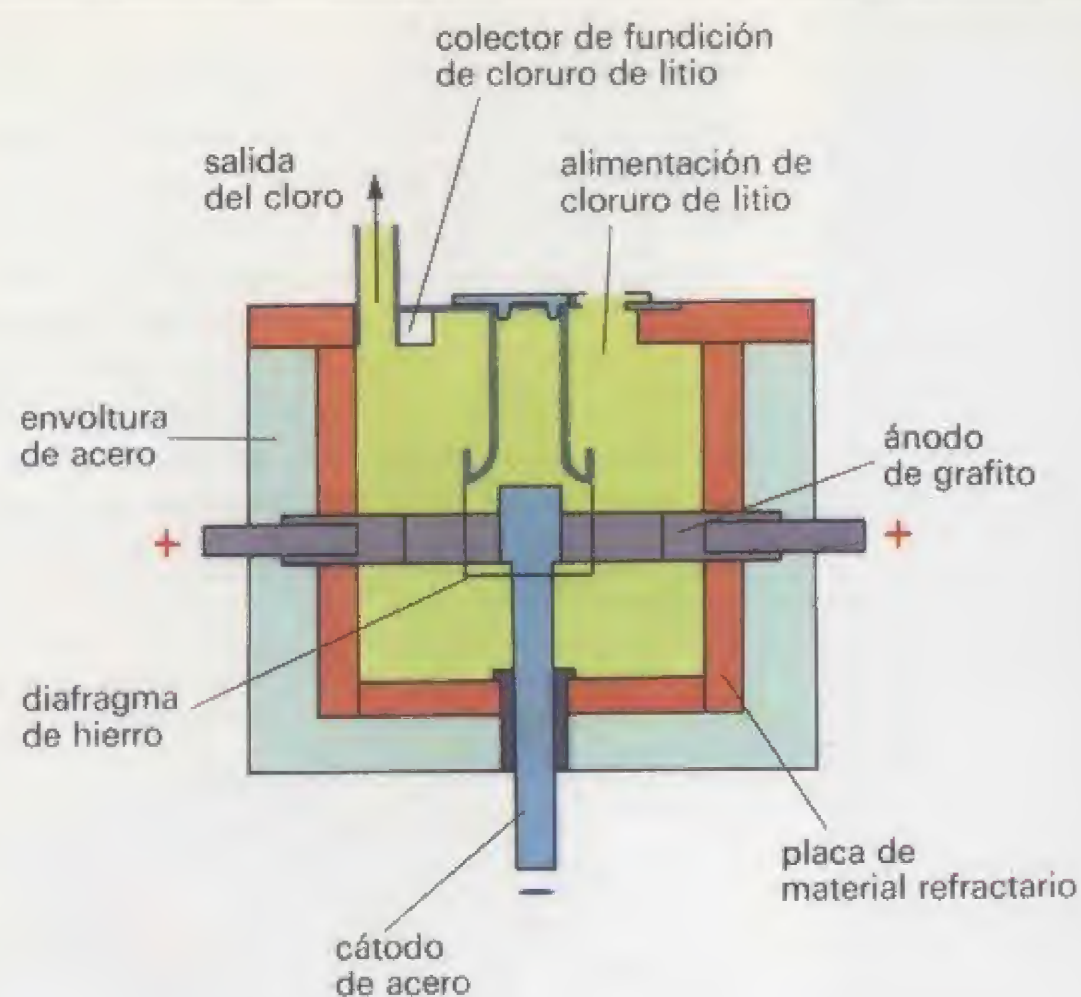
Los compuestos de litio se utilizan también para la fabricación de materias plásticas, de goma sintética y de ciertos lubricantes para altas temperaturas.



El litio, que pertenece a la familia de los metales alcalinos, es el elemento sólido más ligero a temperatura ordinaria. Su átomo (arriba, a la izquierda) tiene el núcleo formado por tres protones y cuatro neutrones; dos electrones se encuentran sobre la órbita más interior (primer nivel) y uno sobre la más externa (segundo nivel). Muy extendido en la

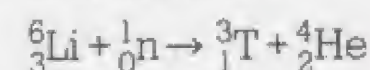
Naturaleza, su concentración en los minerales es más bien baja; arriba, a la derecha, muestra de petalita, su mineral más importante. El litio metálico (a la derecha) se obtiene con proceso electrolítico de su cloruro. Se usa en bajos porcentajes para mejorar las aleaciones metálicas. Sobre estas líneas, microestructura de una aleación ternaria de aluminio, cobre y litio.





A la izquierda, esquema de una celda para electrolisis del cloruro de litio fundido, método empleado para obtener litio metálico. En el proceso electrolítico, que implica obviamente el paso de corriente, el litio metálico se deposita en el cátodo, mientras en el ánodo se libera cloro gaseoso. El baño electrolítico consta de una mezcla fundida de cloruro de litio y potasio. El litio metálico se presenta comercialmente en varias formas: granular, de hilo metálico, de cinta y de cilindros, y debe ser conservado resguardado del aire, sumergido en hidrocarburos o dentro de cilindros metálicos herméticamente cerrados.

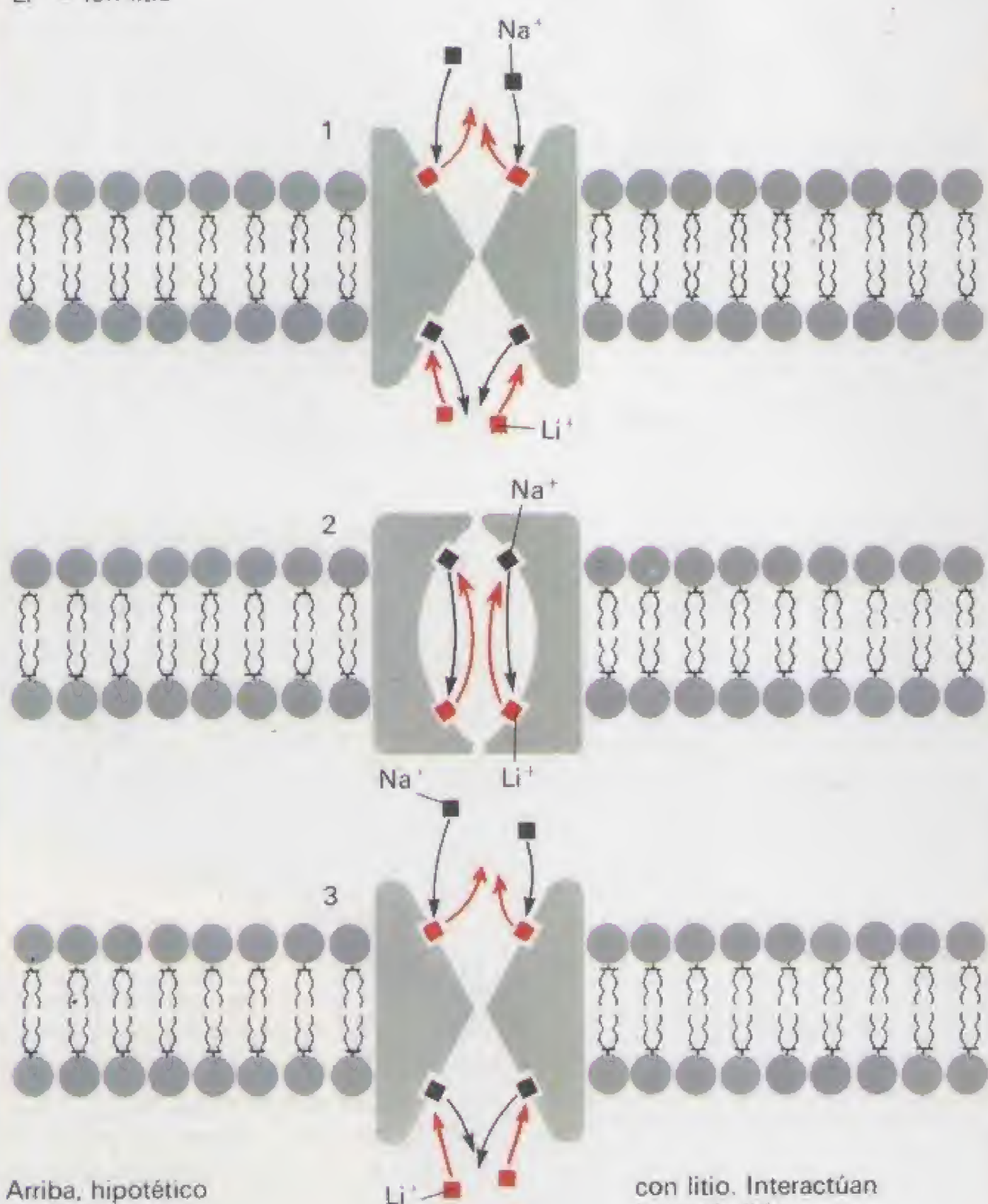
El litio tiene un efecto más bien complejo sobre el cuerpo humano, y se usa con fines terapéuticos en el tratamiento de algunas enfermedades nerviosas. El litio se utiliza en la bomba de hidrógeno. Tales bombas se alimentan con tritio —isótopo radiactivo del hidrógeno— que resulta costoso y difícil de manejar. Una forma no radiactiva del litio, con tres neutrones en el núcleo (más del 90% de los átomos de litio tienen cuatro), se transforma en tritio al capturar cada átomo un neutrón poco después de explotar la bomba. Por esta razón puede usarse en lugar del tritio. La reacción de transformación del litio en tritio es la siguiente:



También puede utilizarse el litio —en la bomba termonuclear— en estado de hidruro de litio, con los isótopos de hidrógeno (deuterio y tritio). Estos hidruros constituyen el combustible de la bomba.

Véase **Metales; Metales alcalinos; Tabla periódica de elementos**

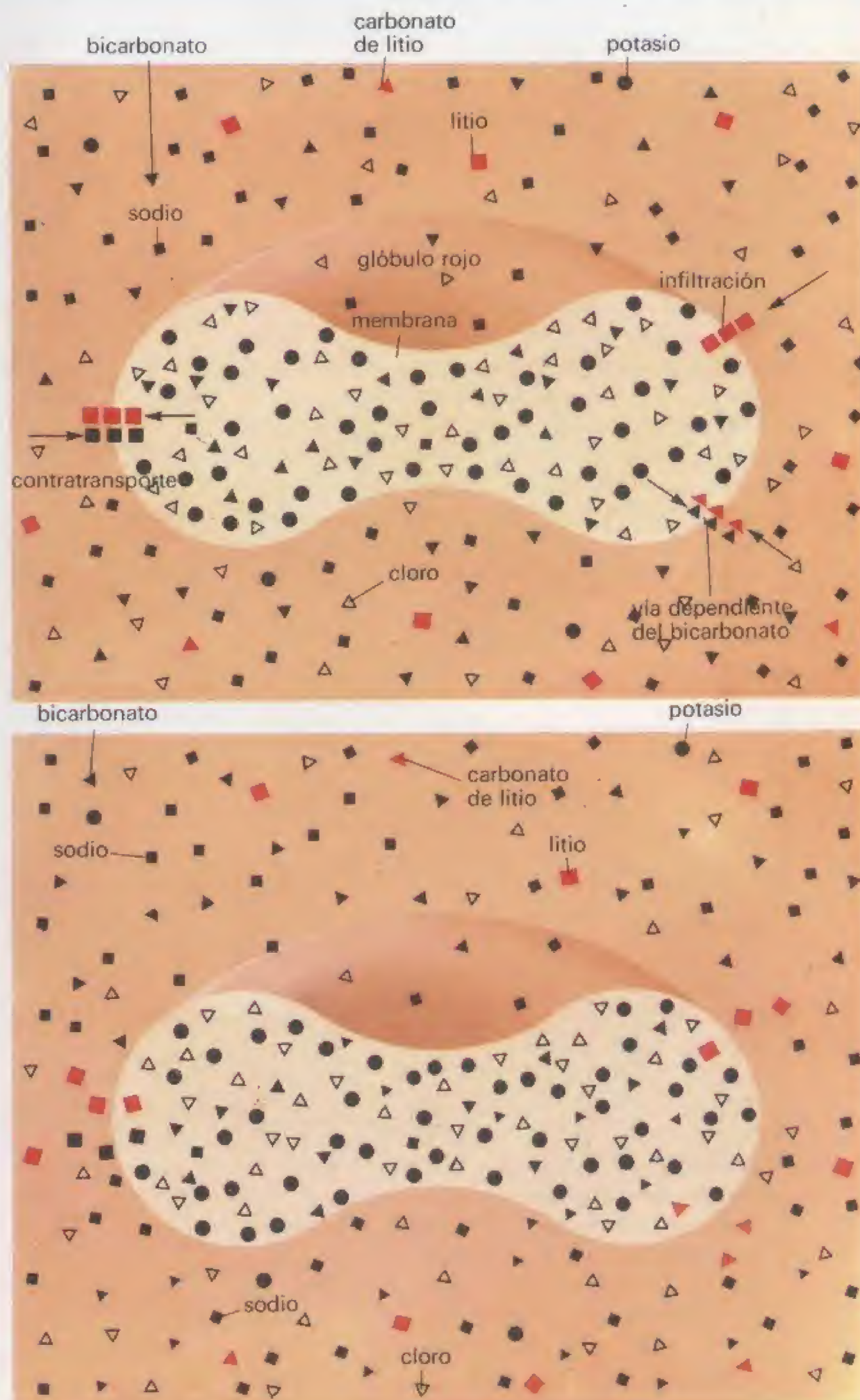
Na^+ = ion sodio
 Li^+ = ion litio



Arriba, hipotético mecanismo de intercambio iónico que contribuye al desplazamiento de los iones litio hacia el exterior de los glóbulos rojos en la terapia de alteraciones maníacas. En la fase de apertura (1) pueden intercambiarse los iones de sodio y de litio presentes en las soluciones que bañan

la superficie interna y externa de la membrana. En el estadio de cierre (2) se intercambia aún iones entre ellos. El retorno a las condiciones iniciales completa el ciclo (3). A la derecha, sangre de un sujeto tratada

con litio. Interactúan iones de litio (cuadraditos rojos), de sodio (negros), de potasio (círculos negros), carbonato de litio (triángulos rojos), bicarbonato (triángulos negros), cloro (triángulos vacíos). El movimiento del litio hacia el exterior es equilibrado después por un movimiento iónico hacia el interior.

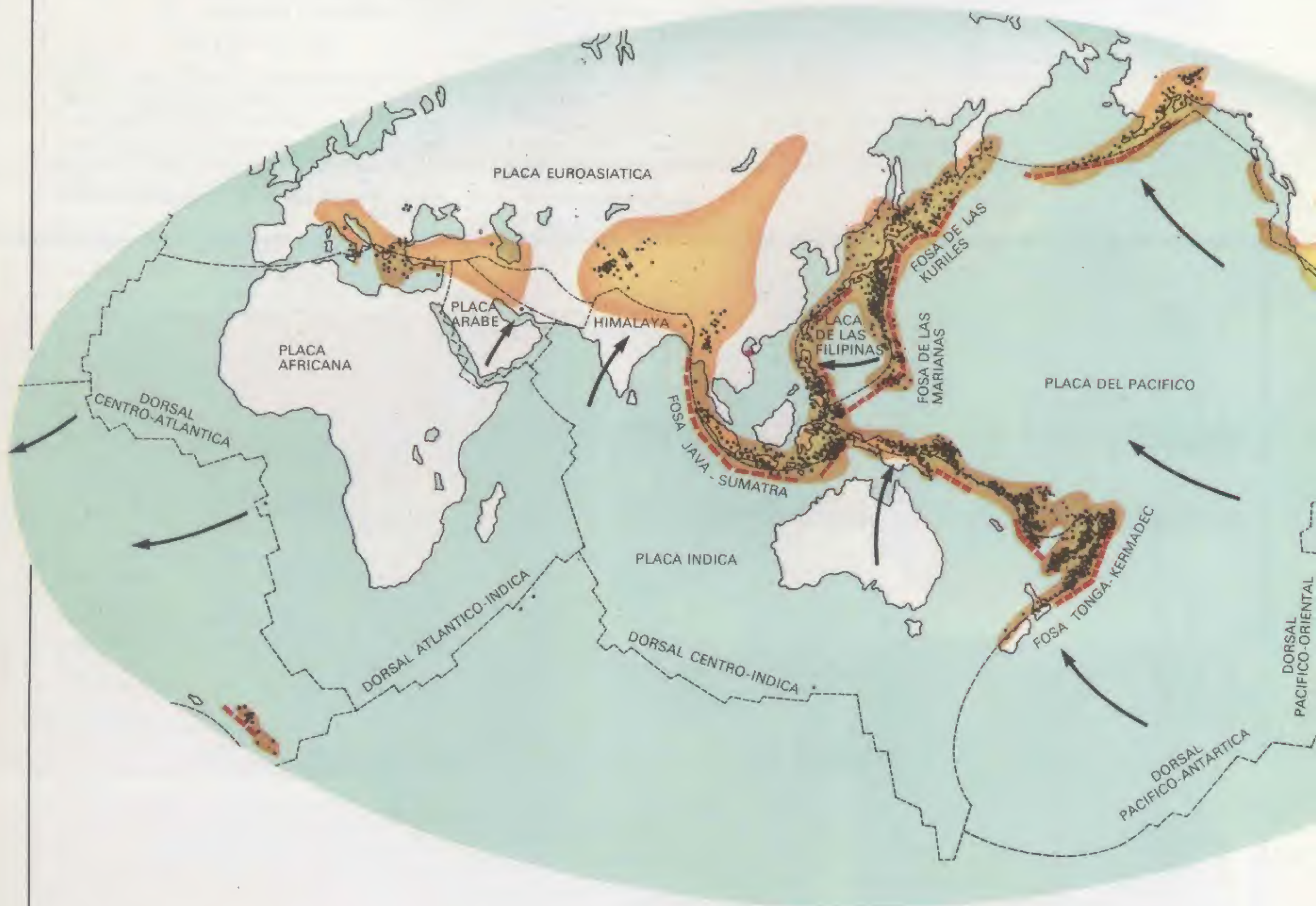


Litosfera

Aunque el hombre haya explorado mares y tierras e incluso haya llegado a la Luna, son pocos los que han descendido a cierta profundidad en el interior de la Tierra. La mina más profunda sólo llega a unos 3.800 metros y los sondeos más excepcionales apenas han superado los 10 kilómetros. Es muy poco probable que el hombre pueda llegar a ver nunca el interior de la Tierra: la presión y la temperatura a grandes profundidades son tan altas que hacen imposible cualquier tipo de

que constituye la envoltura más externa de la Tierra, y que está formada por una docena de placas que se mueven una respecto a otra. Esas placas se separan en las dorsales centro-oceánicas, dejando un espacio que viene a ser ocupado por magma ascendente de las profundidades, y terminan sumergiéndose en el manto subyacente provocando con bastante frecuencia terremotos y generando cadenas montañosas, arcos insulares e incluso fosas oceánicas.

tan intensos que sus ondas de choque atraviesan completamente la Tierra de un lado al otro. Mediante el análisis de esas ondas sísmicas que han viajado por el interior del planeta, los científicos han podido obtener una idea bastante precisa de la configuración interna de la Tierra. Esto se basa, en parte, en que las ondas sísmicas se propagan de distinta manera según que los materiales que encuentran en su camino sean sólidos rocosos o líquidos. Así, ciertos tipos de ondas no pueden



penetración mecánica a grandes distancias desde la superficie.

Son múltiples las razones que impulsan a los científicos a conocer el interior de nuestro planeta. Entre otras, ese conocimiento podría ayudar a comprender no sólo el origen de los preciados materiales que de él se extraen, de las reservas petrolíferas y de otras riquezas, sino también las causas de los terremotos, los mecanismos que impulsan el movimiento de los continentes, las erupciones volcánicas, el origen del campo magnético terrestre y otros muchos aspectos de interés geológico. Gran parte de los fenómenos mencionados tiene su origen en la *litosfera*,

Esta envoltura externa del planeta tiene un espesor bastante constante: de unos 66 kilómetros bajo los continentes y de unos 10 en las regiones oceánicas.

El núcleo de la Tierra La zona más inaccesible de la Tierra es obviamente la parte más interna de la misma, que recibe el nombre de *núcleo*. Este comienza a partir de los 2.900 kilómetros y se extiende hasta el mismo centro del planeta, situado a unos 6.380 kilómetros de profundidad. El diámetro del núcleo es, pues, de unos 7.000 kilómetros.

Algunos terremotos, cuyo foco se sitúa a pocos kilómetros de profundidad, son

transmitirse a través de los líquidos. En consecuencia, su ausencia en los "trenes" de ondas que han atravesado el núcleo de la Tierra demuestra que éste debe de estar en estado líquido o fundido, y no sólo esto, sino que las configuraciones obtenidas confirman que su forma es esférica. Los geofísicos sostienen que la parte fundida del núcleo constituye sólo la porción externa del mismo, mientras que el interior, con un diámetro de 1.255 kilómetros, se encuentra en estado sólido.

Otros estudios han demostrado que la densidad total de la Tierra es 5,5 —una densidad muy elevada—, casi cuatro veces la del Sol. La única manera de expli-

La litosfera, la envoltura que recubre la Tierra, está formada por placas rígidas que se mueven unas respecto a otras. Abajo, un mapa tectónico de la Tierra que muestra las placas litosféricas y la dirección (flechas) de sus desplazamientos. Cuando los márgenes de dos placas chocan, el borde de una de ellas se introduce por debajo del de la otra a lo largo de un plano inclinado: plano de Benioff. Durante el hundimiento de la corteza, ésta se calienta y se funde progresivamente hasta ser completamente

reabsorbida por el manto. Este proceso de hundimiento y refusión de la corteza recibe el nombre de *subducción* y está ilustrado en el esquema de abajo. Complementariamente, en la dorsal centro-oceánica se forma nueva litosfera, mientras que en el punto en que la placa litosférica se sumerge hacia el manto se forma una fosa oceánica (en el mapa tectónico las fosas oceánicas están indicadas con líneas de trazos); los puntos negros indican los terremotos a profundidades de más de 100 km.



car esta densidad —teniendo en cuenta el hecho de que las rocas que forman la corteza terrestre tienen una densidad media de 2,8— es suponer que el núcleo externo fundido y el núcleo interno sólido están formados principalmente por hierro y, en menor proporción, por níquel. Esta teoría se refuerza con el estudio de los meteoritos, que en su mayoría están formados por hierro y níquel, y que probablemente se han originado en las profundidades de un planeta fragmentado hace millones de años.

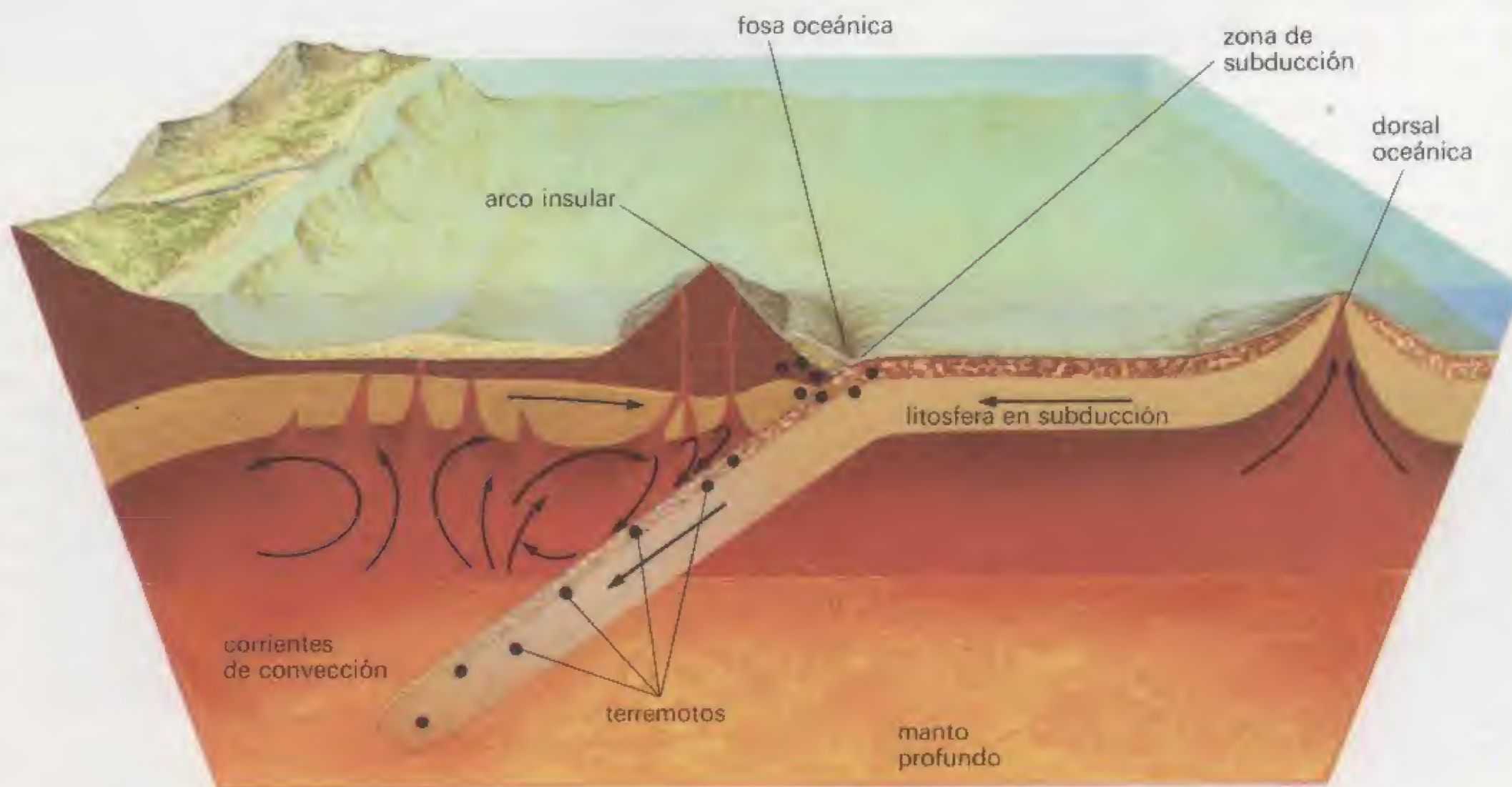
El manto de la Tierra Directamente en contacto con el núcleo de la Tierra se encuentra el manto, que tiene un espesor de casi 2.900 kilómetros. Pese a estar más cerca de la superficie, en ciertos aspectos sabemos aún menos del manto que del núcleo. Esto sucede a pesar de que en la propia superficie terrestre afloran excepcionalmente rocas procedentes del mis-

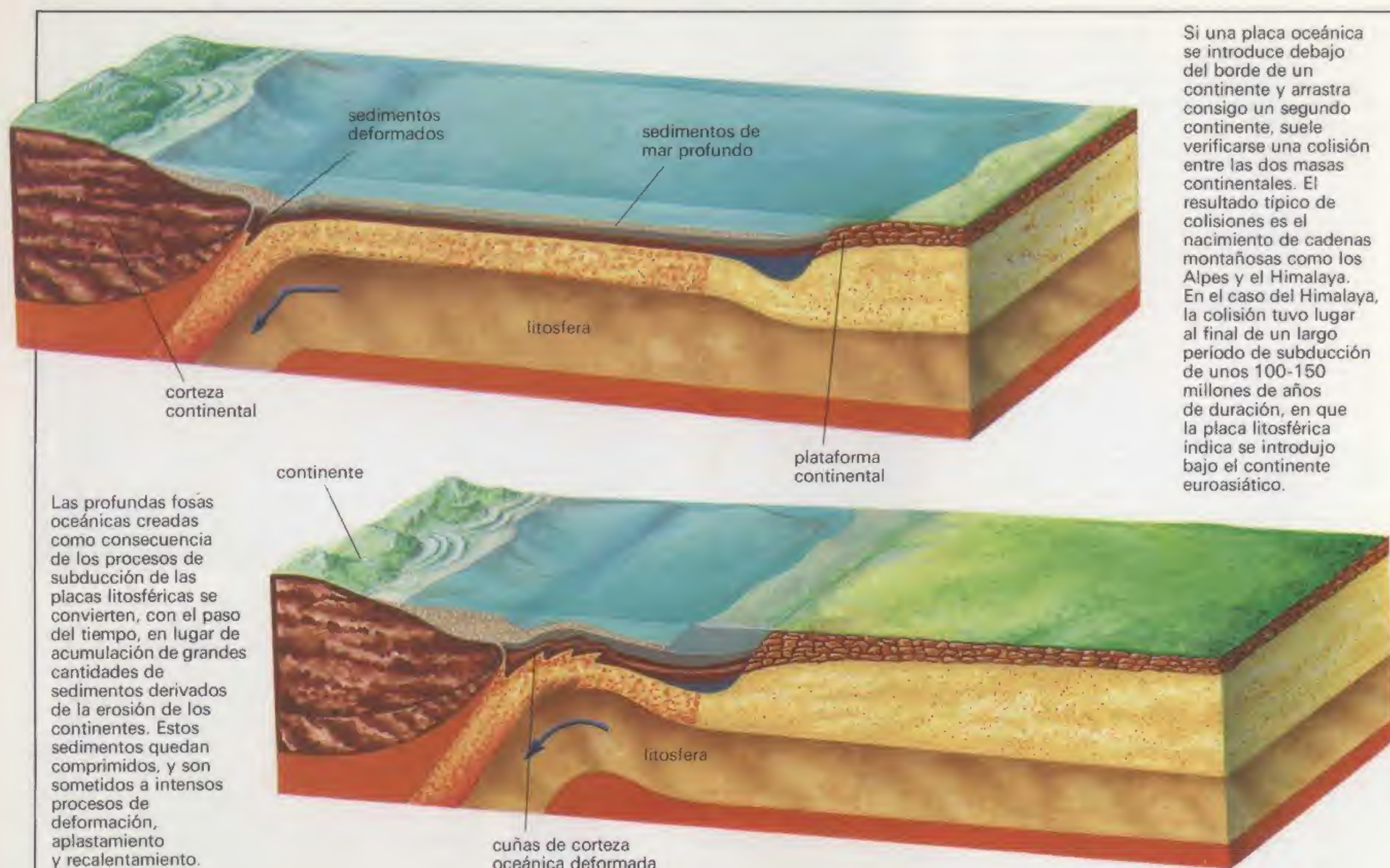
mo. Tal es el caso de las kimberlitas, rocas fragmentarias que proceden de magmas alcalinos, ricos en componentes volátiles y que ocupan conductos o perforaciones circulares, llamados *chimeneas*. Aparte de su interés geológico, estas rocas tienen un notable interés económico, al encontrarse en ellas los diamantes.

Puesto que esos minerales sólo se pueden formar bajo condiciones extremas de presión y temperatura, los geólogos concluyen que esos magmas proceden de la parte más externa del manto, a profundidades superiores a los 100-150 kilómetros. Asimismo las lavas basálticas —arrojadas abundantemente por algunos volcanes— proceden del manto terrestre, aunque, en su caso, de profundidades menores que las kimberlitas.

Basándose en las chimeneas diamantíferas, en el vulcanismo basáltico y, sobre todo, en los terremotos y en el análisis de las ondas sísmicas producidas por explo-

En la parte superior de la placa descendente se localiza el mayor número de terremotos, aunque también pueden originarse a profundidades mayores hasta que la placa que subduce pierde su identidad. Arriba, falla transformante de San Andrés en el tramo que atraviesa la llanura de Carrizo, al norte de Los Ángeles, contacto entre dos placas litosféricas: la pacífica y la norteamericana, que se desplazan en direcciones opuestas.





Si una placa oceánica se introduce debajo del borde de un continente y arrastra consigo un segundo continente, suele verificarse una colisión entre las dos masas continentales. El resultado típico de colisiones es el nacimiento de cadenas montañosas como los Alpes y el Himalaya. En el caso del Himalaya, la colisión tuvo lugar al final de un largo período de subducción de unos 100-150 millones de años de duración, en que la placa litosférica india se introdujo bajo el continente euroasiático.

Las profundas fosas oceánicas creadas como consecuencia de los procesos de subducción de las placas litosféricas se convierten, con el paso del tiempo, en lugar de acumulación de grandes cantidades de sedimentos derivados de la erosión de los continentes. Estos sedimentos quedan comprimidos, y son sometidos a intensos procesos de deformación, aplastamiento y recalentamiento.

siones artificiales, los científicos han llegado a la conclusión de que el manto está formado por rocas constituidas principalmente por olivino (mineral que contiene magnesio, hierro, silicio y oxígeno). Se trata de un silicato, cuya fórmula química es $(Mg, Fe)_2 SiO_4$, que se presenta en agregados granudos, raramente en cristales, y que es de color verde oliva, amarillento, aunque también puede ser gris con brillo vítreo, o marrón.

El manto tiene una densidad media de 3,4. Esto demuestra que probablemente el manto contiene más hierro y magnesio del que podría indicar el olivino puro.

Es interesante remarcar que el olivino es frecuente en varios tipos de meteoritos, lo que refuerza la teoría expuesta, según la cual este mineral debe ser abundante en el manto. El olivino se encuentra normalmente en las rocas ígneas, que resultan del enfriamiento y consiguiente endurecimiento de magma fundido, como en el caso de las lavas volcánicas de composición basáltica. Se trata de rocas hiposilíceas, esto es, pobres en el componente SiO_2 , y por eso son más densas que la mayoría de las rocas que forman la corteza terrestre, lo que confirma su origen profundo, infracortical. Se sabe, además, que el manto posee un contenido en elementos radiactivos inferior al de la corteza. Si dicho contenido fuera superior o igual al de la corteza, la desintegración de los elementos radiactivos habría provocado un intenso calentamiento del manto, generan-

do una temperatura más alta de la que posee, lo que tendría que haberse traducido en una actividad volcánica más intensa que la observada.

La corteza terrestre La corteza de la Tierra la forman mayoritariamente rocas como las que afloran en la superficie, y se extiende hasta una profundidad de 40 kilómetros bajo los continentes y de 5 a 10 kilómetros bajo los océanos, donde se adelgaza notablemente. El estudio de las ondas sísmicas demuestra que el límite entre la corteza y el manto constituye una importante discontinuidad. Efectivamente: al atravesar esta zona, las ondas sísmicas —de origen natural o provocadas artificialmente mediante una explosión nuclear— experimentan un brusco aumento de su velocidad. Este hecho se verifica en cualquier punto de la Tierra.

Dentro ya de la corteza, el análisis de las ondas sísmicas permite distinguir una estructura en capas. La parte superior está compuesta, en su mayoría, por basalto, y es más ligera. La parte más profunda la forman materiales con propiedades sísmicas semejantes a las del basalto. Esto llevó en otro tiempo a hablar de una *capa granítica* menos densa que formaría los continentes y que "flotaría" sobre una capa basáltica más densa, que sólo saldría a la superficie en los fondos oceánicos. Hoy sabemos que, aunque sísmicamente parecidas, la capa inferior bajo los continentes es distinta de la de los océanos.

Químicamente, la corteza terrestre está formada principalmente por oxígeno (46,60%) y silicio (27,72%), que constituyen por sí solos el 74,32% de todos los elementos —más de cien— que participan en su composición. Entre los demás elementos, los más importantes son, por orden de abundancia, el aluminio (8,12%), el hierro (5,00%), el calcio (3,63%), el sodio (2,83%), el potasio (2,59%) y el magnesio (2,09%). Estos ocho elementos mencionados forman el 98,59% de la corteza terrestre. La gran mayoría de las rocas que se encuentran sobre la superficie de la Tierra o en su corteza viene a estar compuesta por estos elementos.

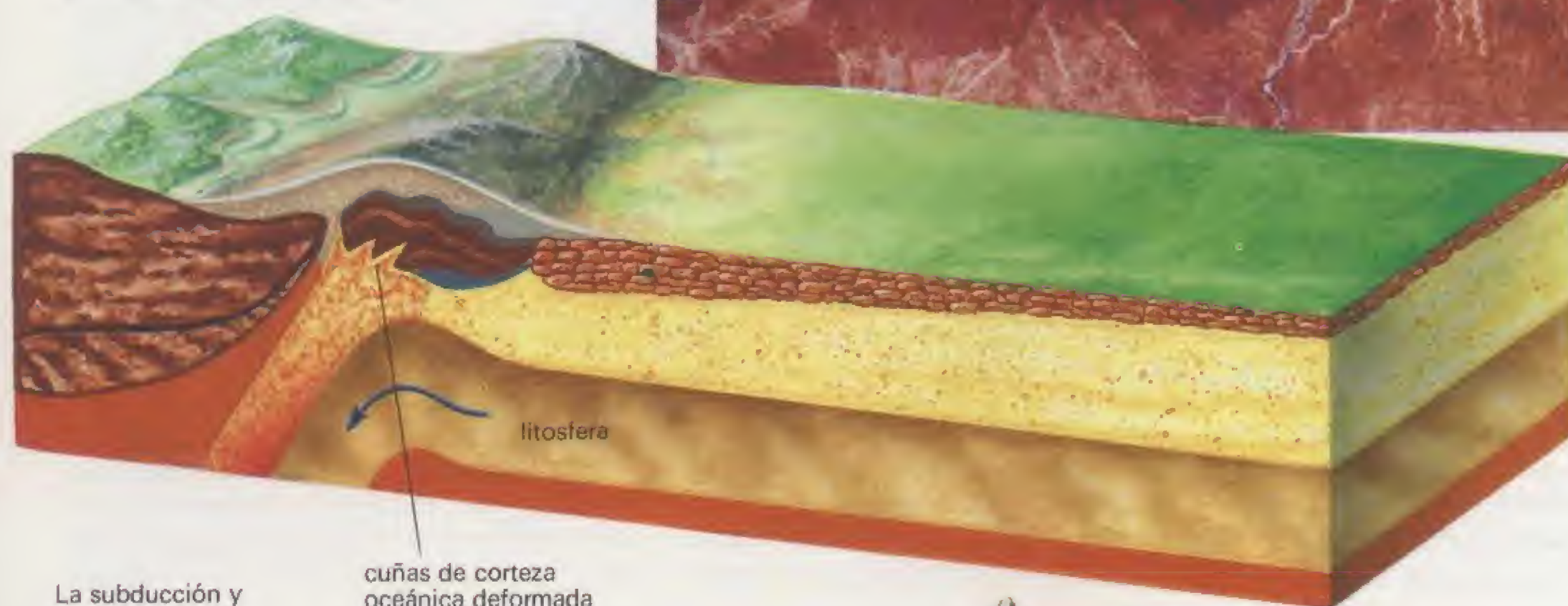
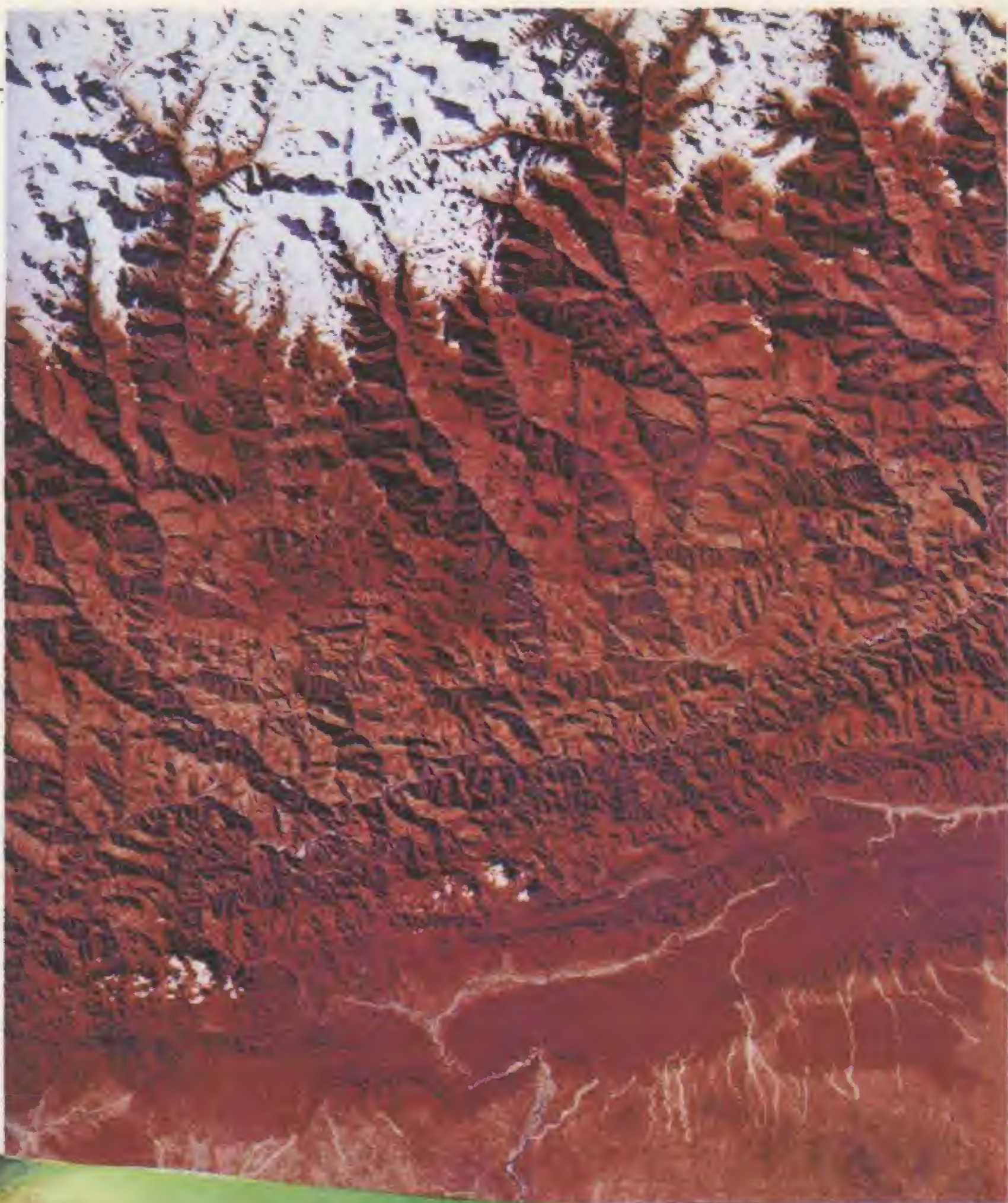
Los principales procesos químicos La superficie de la Tierra es la zona del planeta con más actividad química. Efectivamente, la superficie se encuentra expuesta a la acción del oxígeno atmosférico, y las lluvias y las aguas corrientes erosionan y modifican químicamente el paisaje. Las conchas y los esqueletos de seres vivos —como los moluscos— se acumulan a su muerte, formando depósitos que más tarde se convertirán en caliza. Los volcanes emiten en sus erupciones compuestos químicos corrosivos que, integrados a la atmósfera, terminan provocando cambios significativos en las rocas. Análisis muy precisos han demostrado que las rocas sedimentarias contienen porcentajes de carbono, oxígeno, cloro, nitrógeno, azufre y boro mucho más altos que los de

las demás rocas que afloran a la superficie de la Tierra. Esto se debe a que, a diferencia de las otras rocas que se forman a altas temperaturas en el interior, las rocas sedimentarias lo hacen en condiciones ambientales, lo que permite la retención de los componentes volátiles mencionados.

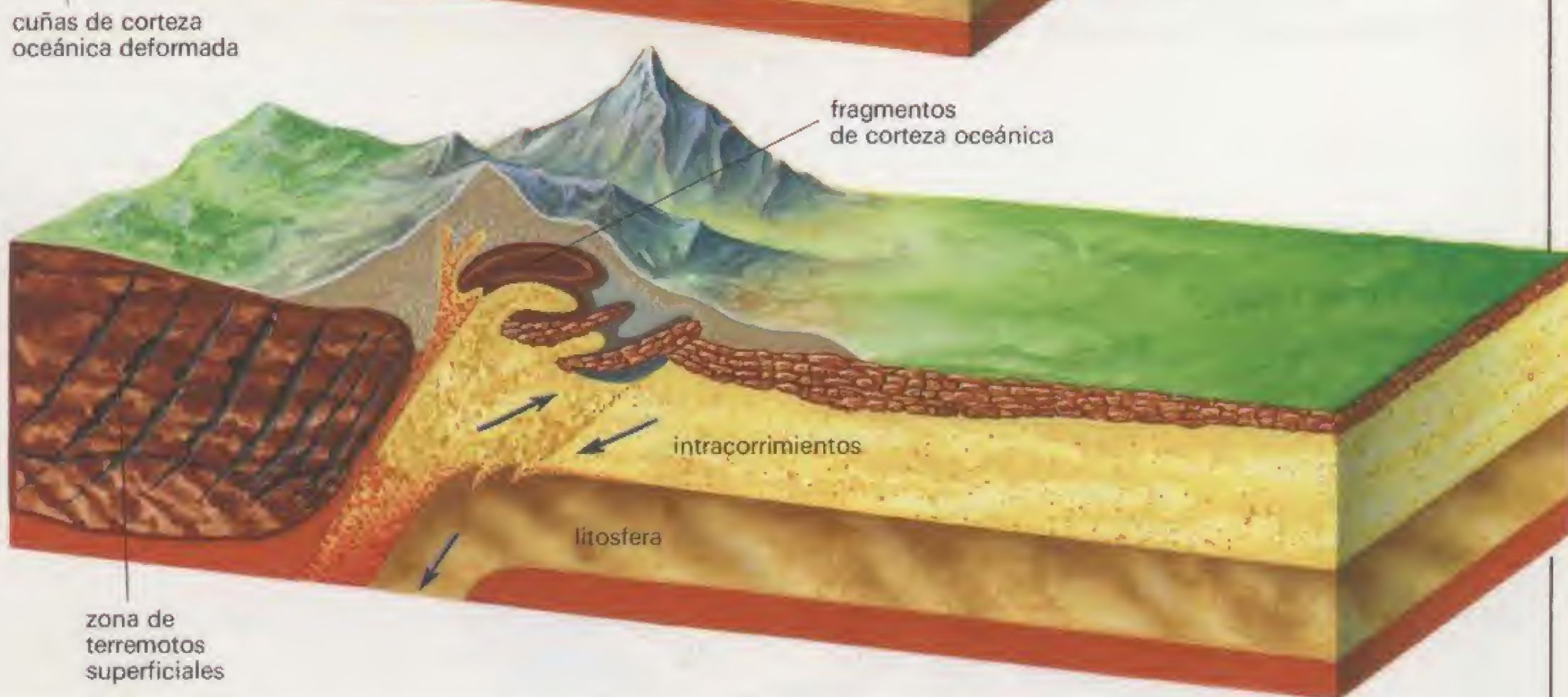
Las rocas metamórficas se liberan de algunos elementos en el transcurso de su formación. Así, el agua, el dióxido de carbono, el metano y el ácido bórico se desprenden habitualmente durante los procesos metamórficos. Por otro lado, el sodio (que se conoce normalmente combinado con el cloro, formando cloruro de sodio, la *sal común* de cocina), el potasio, el calcio y el magnesio son más abundantes en las rocas metamórficas que en las sedimentarias. Además, a temperaturas por encima de los 600 °C las rocas empiezan a fundir, iniciándose así un conjunto de procesos químicos distintos, característico de los estados magmáticos.

Las rocas ígneas son aquellas que han pasado por un estado de fusión y de consiguiente movilidad. Están formadas por silicatos complejos —como feldespatos, micas, anfíboles y piroxenos— que, como podría esperarse, poseen normalmente contenidos altos de aluminio, hierro, potasio y magnesio.

Véase Corteza terrestre; Núcleo terrestre; Rocas magmáticas; Rocas metamórficas; Rocas sedimentarias; Tectónica; Tierra



La subducción y posterior colisión entre los continentes culmina en el levantamiento de un cinturón plegado sobre el nivel del mar, para luego formar una cadena montañosa, como ha sucedido en el Himalaya. En la foto superior, zona nepalesa del Himalaya, cubierta de nieve, en una imagen tomada por el satélite ERTS. Se distingue claramente el límite entre las dos placas litosféricas, que va de izquierda a derecha a lo largo del valle señalado por dos pequeños grupos de nubes, en la parte inferior de la imagen.



Locomoción animal

El guepardo, que es el animal con una carrera más veloz, puede alcanzar la velocidad de 110-120 km/h y mantenerla durante uno o dos minutos; en cambio, los minúsculos protozoos, aun moviendo vertiginosamente sus cilios, apenas se pueden desplazar uno o dos milímetros en varios segundos. Cada uno de estos seres ha desarrollado estructuras concretas para hacer frente a sus específicas necesidades de locomoción.

La capacidad de desplazamiento es una de las principales diferencias entre las plantas y los animales, que está directamente relacionada con otra diferencia fundamental: las plantas pueden sintetizar su alimento a partir de las sustancias que hay en su entorno, aprovechando la luz solar, mientras que los animales tienen que buscar activamente la comida. En los dos reinos encontramos excepciones: hay plantas unicelulares que se desplazan, y animales sésiles y parásitos que durante toda su vida o buena parte de ella permanecen fijos a su sustrato. En estos últimos casos, los animales poseen órganos bien desarrollados para la obtención de alimento (sésiles) o lo obtienen de su huésped (parásitos). Son precisamente las necesidades de buscar alimento, escapar a los depredadores y reunirse macho y hembra para el apareamiento las que determinan el desarrollo de la capacidad locomotora de los animales.

Estructuras fundamentales En todo movimiento hay un gasto de energía, que se precisa para la contracción de los músculos. Estos están formados por un conjunto de fibras muy finas, las *fibrillas*, que se pueden contraer. Los músculos son típicos de los animales evolucionados, y necesitan energía para contraerse, pero no para relajarse, de manera que forman combinaciones antagónicas en las que unos músculos están contraídos y otros relajados: esto proporciona fluidez y eficacia a los movimientos. En cambio, los cilios y flagelos, propios de los organismos acuáticos más simples —unicelulares o de pocas células—, tienen movimientos análogos a los de un látigo para impulsar al organismo en el agua.

La anatomía humana, al igual que la de una mosca, está proyectada para el *movimiento apendicular*, en el que hay partes del cuerpo especializadas en la locomoción. En cambio, en el *movimiento axial* (típico de las serpientes y los gusanos) todo el cuerpo cambia de forma, adaptándose a las superficies por las que se desplaza. Todos los movimientos de los animales son o bien axiales o bien apendiculares, tanto si se producen en el agua, sobre la tierra o bajo la misma.

El medio acuático El agua es el medio primordial en el que se ha desarrollado la vida; por ello los organismos menos evolucionados no han salido de ella, ya que —entre otras cosas— el movimiento es mucho más fácil en este medio. Tam-

Bajo estas líneas, ejemplo de movimiento en los insectos: el vuelo del abejorro. Antes de emprender el vuelo, el abejorro eleva los élitros (pequeños "estuches" que protegen las alas y las mantienen inmóviles) mientras que las alas, desplegadas, empiezan a vibrar. En la página siguiente, arriba, un esquema que ilustra el movimiento de *Nereis pelagica* (reptación arriba y natación abajo), un anélido poliqueto. Los anélidos poseen haces musculares orientados en dos

direcciones contrarias, una musculatura circular y otra longitudinal. *Nereis* avanza mediante flexiones laterales. La onda de contracción lateral determina un movimiento hacia adelante. Los apéndices laterales (párpodos) de los poliquetos están dotados de cierta movilidad y se usan como palancas. En *Nereis* se puede observar que durante la contracción se disponen de forma que favorecen el desplazamiento hacia adelante.



bién se da el caso de animales muy evolucionados, como los cetáceos, que han vuelto al medio acuático, para lo cual han experimentado importantes transformaciones anatómicas, y cuya forma se parece más a la de los peces que a la de los mamíferos. El desplazamiento en el agua puede realizarse por natación, mediante cilios y flagelos —en los animales inferiores— o mediante aletas u órganos semejantes —en los animales superiores—; también hay animales que caminan o se arrastran por el fondo. Una forma peculiar de locomoción es la de las sanguijuelas, que se arrastran, pegando alternativamente sus ventosas anterior y posterior para avanzar.

Hay peces, como la anguila, que nadan con un movimiento ondulante caracterís-

tico; pero la mejor adaptación a la natación es, sin duda, la de la mayoría de los peces que tienen el cuerpo fusiforme (forma hidrodinámica), con la parte anterior rígida, aletas y cola. Muchos invertebrados acuáticos tienen patas bien desarrolladas, como los crustáceos, y otros se desplazan por "propulsión a chorro", como los cefalópodos.

La conquista de medios adversos La historia evolutiva de los animales es la de la conquista de medios diferentes al acuático, donde la supervivencia es mucho más difícil y obliga a desarrollar mecanismos de regulación térmica y de locomoción muy perfeccionados. Fuera del agua hay varias modalidades de locomo-





reptación



natación

A la derecha, un ejemplo de movimiento "a reacción", propio del calamar. Al igual que el resto de los cefalópodos, los desplazamientos los consigue gracias a un órgano hidropulsor. El agua entra en cantidad considerable en la cavidad paleal y, comprimida por la contracción muscular, sale a través de un órgano hidropulsor. De esta forma el animal lanza chorros de agua que le impulsan, produciendo su desplazamiento. Las aletas que se encuentran en la parte posterior de su cuerpo le permiten girar. Abajo, en ambas páginas, las fases del salto de una rana. Al igual que el resto de los animales saltadores, las extremidades posteriores están muy desarrolladas y tienen una fuerte musculatura. El salto es el resultado de un fuerte impulso dado por las patas traseras, que se apoyan en el suelo y que al estirarse elevan al animal.



ción. La reptación terrestre, propia también de los animales acuáticos que se arrastran por el fondo, se caracteriza porque el animal no levanta el cuerpo del suelo en su desplazamiento.

La mayoría de los vertebrados se mueve sobre cuatro patas, aunque las aves y el hombre, por ejemplo, lo hacen sobre dos (marcha bípeda). Los invertebrados tienen un número variable de patas, que son muy numerosas en los miriápodos y en otros. Un perfeccionamiento de la marcha es el trote y la carrera, para la que muchos mamíferos están especialmente bien provistos, así como algunas aves que han perdido su capacidad de volar. El salto es otra importante modalidad de locomoción, que se puede presentar en combinación con la marcha y la carrera (el salto de los felinos, por ejemplo), mientras que otros animales se desplazan exclusivamente a saltos, para lo que poseen un par de miembros traseros muy desarrollados: las patas traseras de los saltamontes, o las de las ranas y canguros. En los animales subterráneos, en cambio, se suelen desarrollar más los apéndices anteriores, adaptados a la excavación. Un tipo peculiar de adaptación a la vida arborícola es la braquiación, en la que el cuerpo se mueve balanceándose colgado de los brazos, que están especialmente desarrollados.

El vuelo La conquista del aire es uno de los logros más espectaculares de la evolución. Hay que distinguir el vuelo propiamente dicho del planeo, presente en muchos animales (ardilla "voladora", pez "volador", etc.). El vuelo requiere la existencia de un par de alas cuyo movimiento sea capaz de producir un empuje que venza la resistencia del aire y permita al animal elevarse. Existen muchas formas de vuelo, pero todas se basan en los mismos principios de la aerodinámica. Hay dos grandes grupos de animales voladores: las aves y los insectos, aunque también hay mamíferos (los quirópteros o murciélagos) que se han adaptado a esta forma de locomoción.

Véase **Ala de animal; Animal; Evolución animal**



Locomotora

Para muchos, el término *locomotora* evoca inmediatamente la imagen de las humeantes y robustas máquinas de acero que representan las primitivas locomotoras de vapor. Sin embargo, desde la primera locomotora de Trevithick construida en 1804, similar a una gigantesca olla sobre ruedas, hasta la imponente *Big Boy* (1941), que pesaba más de 600 toneladas y prestaba su servicio en la Union Pacific, las locomotoras de vapor de todo el mundo han pasado ya casi todas, en menos de una generación, del servicio activo al depósito de chatarra y han sido suplantadas por máquinas eléctricas o de motor Diesel, más potentes y rápidas.

Locomotoras de vapor George Stephenson (1781-1848) fue el primero en construir locomotoras preparadas para rodar sobre raíles lisos, aprovechando las experiencias de los primeros constructores. En 1814 construyó la primera para el ferrocarril minero de Killingworth a Hetton, con una potencia de arrastre de 30 tm y una velocidad de 6 km/h. En 1929 apareció la locomotora *Rocket*, también de Stephenson, a partir de la cual se introdujeron una serie de modificaciones para ganar velocidad.

Las locomotoras de vapor son máquinas robustas y sencillas, en las que el vapor, generado en una caldera, es conducido a unos cilindros, donde su expansión empuja unos émbolos. Mediante un acoplamiento mecánico, el movimiento de vaivén del émbolo se convierte en el de rotación de las ruedas motrices.

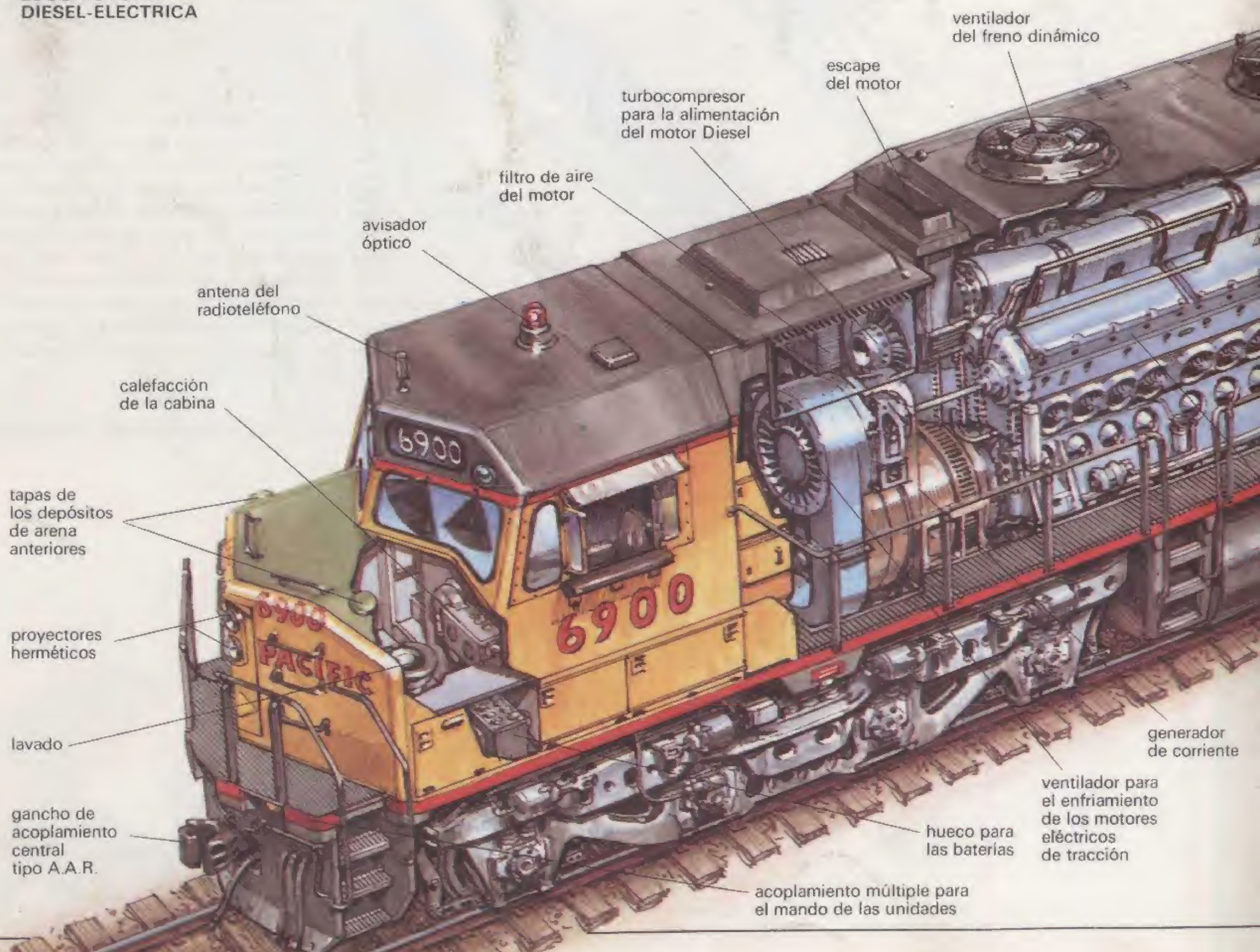
Locomotoras eléctricas Las primeras locomotoras eléctricas se desarrollaron a partir de 1881, imponiéndose sobre la tracción a vapor. Su rentabilidad depende de la intensidad de tráfico de la línea. El empleo de corriente continua de 400 a 500 vatios es de rendimiento superior al de la corriente alterna, aunque requiere subestaciones a lo largo de la línea que transformen la corriente alterna que suministran las redes de distribución, con los consiguientes elevados costes de montaje y mantenimiento. A diferencia de las primeras locomotoras eléctricas, que transportaban las pesadas baterías de pilas de donde tomaban energía, las locomotoras eléctricas actuales la toman de un conductor aéreo (*catenaria*) o de un tercer carril. La toma de corriente de la catenaria se realiza mediante un *pantógrafo*, y la del tercer raíl, por *zapatas* o frotadores. El pan-

tógrafo consta de un colector deslizante constituido por una cinta de contacto (*patín*) dispuesta sobre una estructura romboidal articulada, que permite un movimiento vertical con el fin de seguir las variaciones de altura del hilo de contacto.

La corriente eléctrica se convierte, mediante transformadores de silicio, en corriente continua de bajo voltaje, generalmente 300-700 vatios, que pone en funcionamiento los motores eléctricos de alta velocidad montados sobre cada eje de la locomotora. Un pequeño engranaje montado sobre el motor mueve un engranaje mayor fijado sobre el eje de la rueda y así se realiza la tracción. El récord de velocidad para locomotoras eléctricas lo ostentan dos máquinas construidas en Francia, que pueden alcanzar los 330 km/hora.

Locomotoras Diesel-eléctricas Las locomotoras Diesel-eléctricas transportan toda la instalación necesaria para generar su propia electricidad. El aire aspirado por los cilindros es calentado por compresión hasta una temperatura tan alta, que el combustible inyectado en la cámara de combustión se quema rápidamente sin necesidad de chispas. Las explosiones son generadas en los motores de ciclo de dos o

LOCOMOTORA DIESEL-ELECTRICA



cuatro tiempos y pueden proporcionar una potencia de hasta 2.000 CV y una velocidad de 120 km/hora.

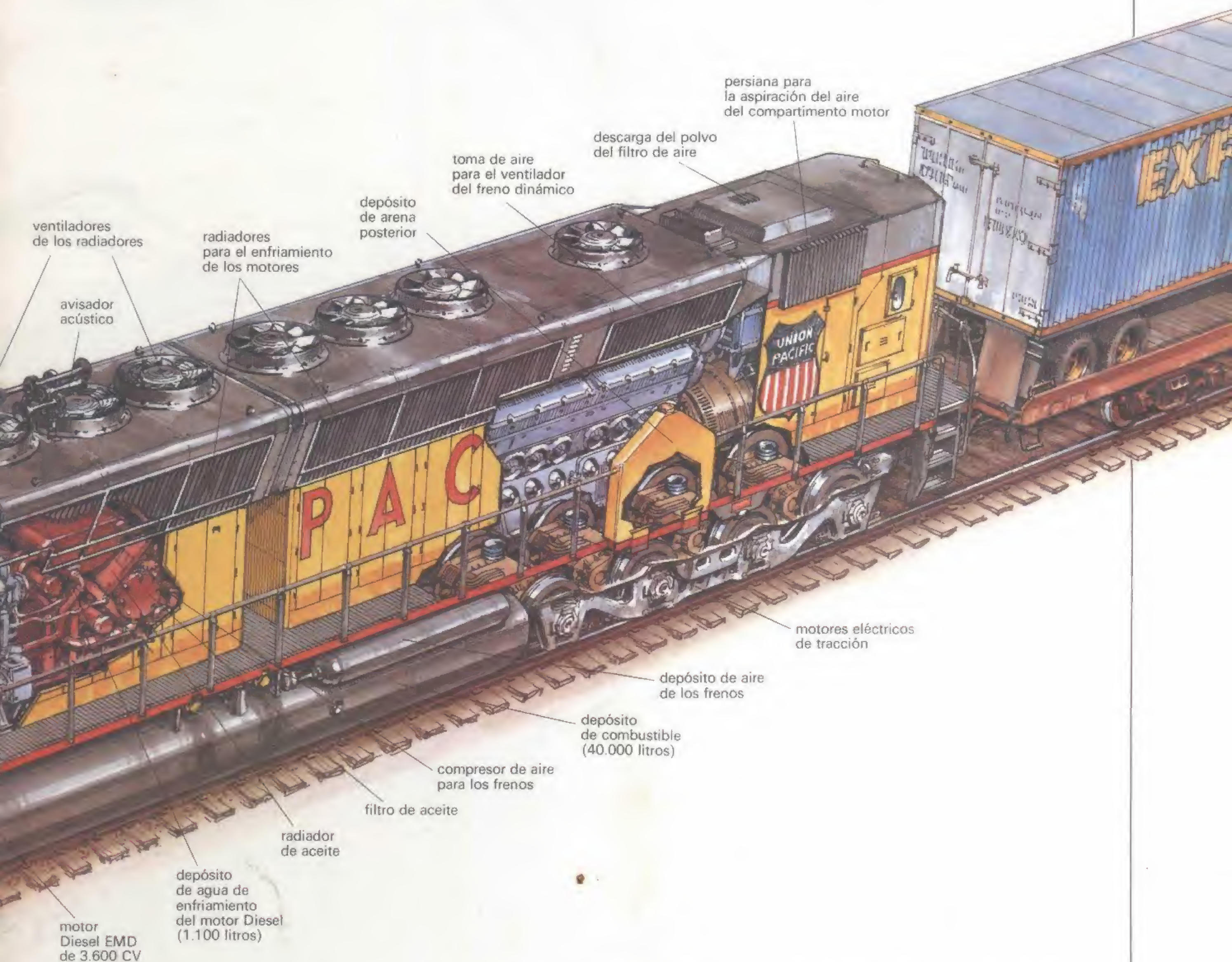
Este tipo de locomotoras resulta de acoplar directamente un motor Diesel a una *dinamo*, que convierte la energía mecánica en corriente continua, o, más raramente, a un *alternador* que produce corriente alterna. En ambos casos la electricidad suministra a su vez la energía a los motores, montados en los ejes de las ruedas, de la misma forma que en las locomotoras eléctricas.

En algunas locomotoras Diesel, cuyos proyectos han sido desarrollados en la República Federal Alemana e Italia, la energía mecánica no se transforma en energía eléctrica, sino que es utilizada directamente para accionar un eje que transfiere el movimiento a las ruedas mediante un sistema de transmisión. Este utiliza una bomba hidráulica centrífuga que acciona una turbina mediante aceite a altísima presión.

Los modelos más modernos disponen de una instalación de radar para reducir

el deslizamiento de las ruedas. El radar detecta los puntos de los raíles en los cuales es probable que se produzca un deslizamiento, y automáticamente esparce arena sobre los raíles para asegurar una mejor adherencia. Este perfeccionamiento, aparentemente simple, permite a las locomotoras arrastrar un tonelaje un 33% mayor del habitualmente previsto.

Véase **Ferrocarril; Ferrocarril metropolitano y tranvía**



La época de las locomotoras de vapor ha llegado definitivamente a su fin. En su lugar hoy se utilizan las eléctricas con transmisión por cable o las Diesel-eléctricas, en las cuales la potencia producida por los

motores Diesel es transmitida a generadores eléctricos. Estos accionan a su vez unos motores dispuestos en las ruedas. Con este sistema se consigue que los motores Diesel giren siempre al régimen óptimo de

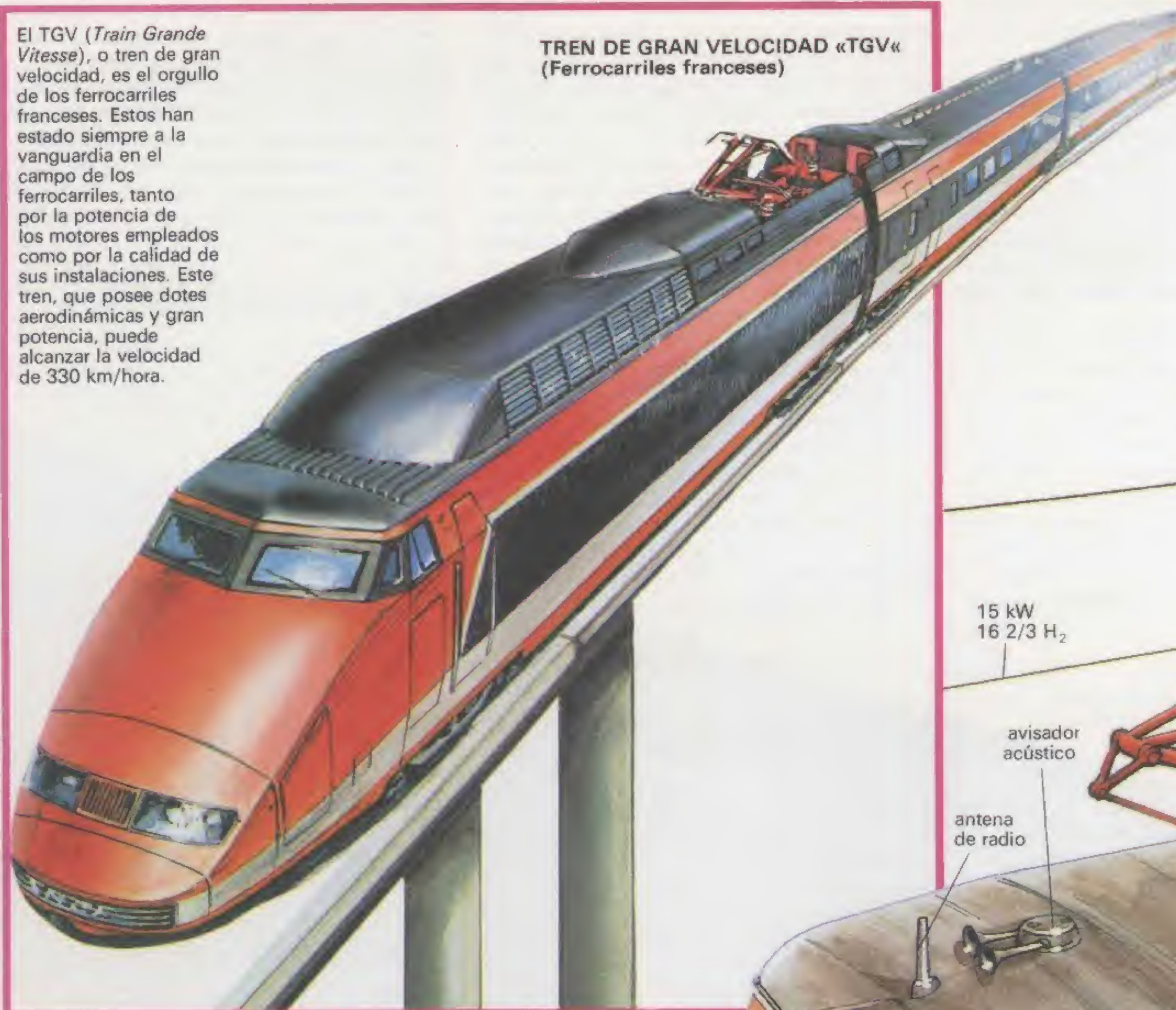
máximo rendimiento, pudiéndose regular la velocidad y el esfuerzo de tracción sin recurrir a órganos tales como los cambios mecánicos. En la imagen, locomotora Diesel, compuesta por dos secciones, en cada una de las cuales se

encuentran dos grandes motores térmicos Diesel y los alternadores, que, junto con otros mecanismos diversos, pueden ser controlados desde la cabina del conductor con la ayuda de controles automáticos.

El TGV (*Train Grande Vitesse*), o tren de gran velocidad, es el orgullo de los ferrocarriles franceses. Estos han estado siempre a la vanguardia en el campo de los ferrocarriles, tanto por la potencia de los motores empleados como por la calidad de sus instalaciones. Este tren, que posee dotes aerodinámicas y gran potencia, puede alcanzar la velocidad de 330 km/hora.

TREN DE GRAN VELOCIDAD «TGV» (Ferrocarriles franceses)

A la derecha vemos una locomotora eléctrica utilizada por los ferrocarriles alemanes en 1924 para el transporte de mercancías. Disponía de una potencia de sólo 2.200 kW, que es muy pequeña comparada con las realizaciones actuales. Su peso, sin embargo, era notable: 124 toneladas, lo que le aseguraba una buena adherencia sobre el rail, necesaria en los tramos de cuesta, en



En Europa las características de las locomotoras son distintas según la naturaleza de los recorridos de cada país. Vemos, por ejemplo, a la derecha, una locomotora austriaca capaz de suministrar una potencia de 5.280 kW a la velocidad de 90 km/h y de alrededor de un 10% menos a altas velocidades. La velocidad máxima es de 180 km/h. Su peso, sin embargo, es su característica más destacada, con sólo 83,6 toneladas. Se pueden acoplar varias unidades.

LOCOMOTORA ELECTRICA DE TIRISTORES

serie 1044 de la OBB
(Ferrocarriles Austriacos)
5.280 kW a 90 km/hora,
4.880 kW a 160 km/hora,
velocidad máxima: 180 km/hora
peso: 83,6 toneladas

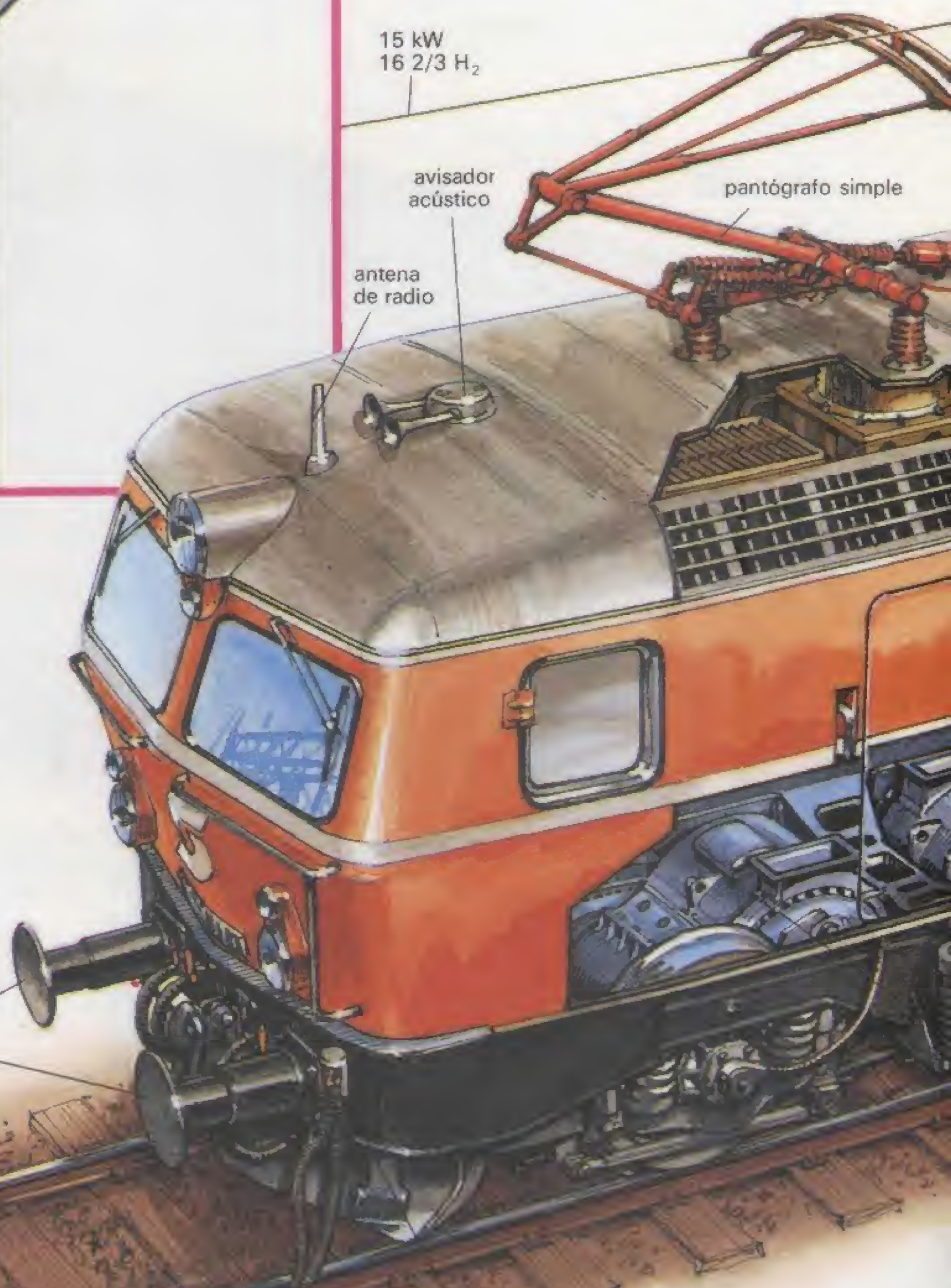
topes

15 kW
16 2/3 H₂

avisador
acústico

antena
de radio

pantógrafo simple



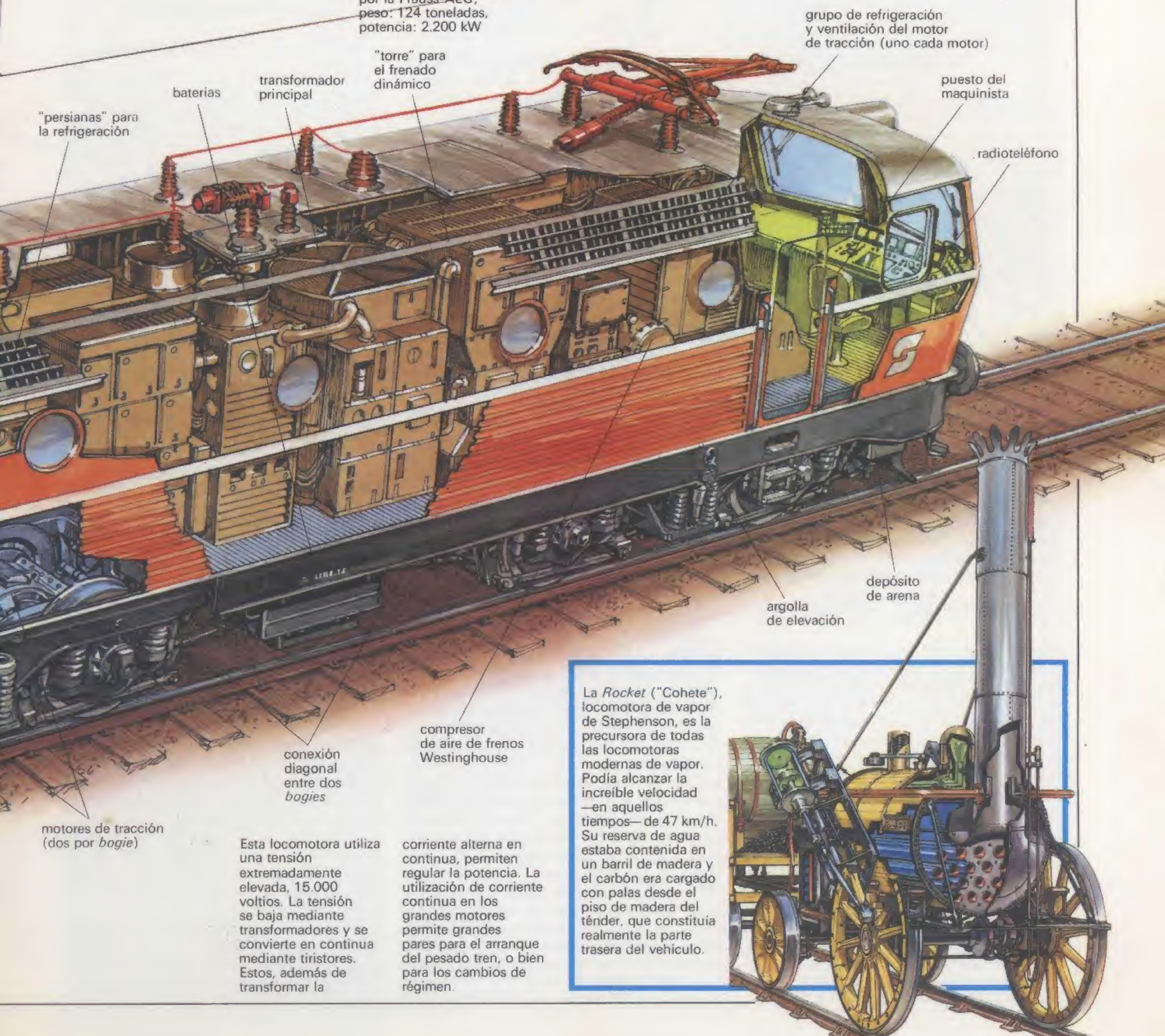
acoplamiento eléctrico
múltiple para las unidades

frenado y para arrancar cuando arrastraba trenes de muchos vagones. En aquellos años se experimentaron soluciones que hoy en día son comunes y han alcanzado el máximo de sus posibilidades: la tracción mediante corriente continua en lugar de alterna, un motor para cada rueda, grandes transformadores, así como la recuperación de la energía eléctrica durante el frenado.



EG 5. LOCOMOTORA ELECTRICA PARA TRANSPORTE DE MERCANCIAS

1924/27 - construida para la DRG (Ferrocarriles Alemanes de la Región de Baviera) por la Frauss-AEG, peso: 124 toneladas, potencia: 2.200 kW



grupo de refrigeración y ventilación del motor de tracción (uno cada motor)

puesto del maquinista

radioteléfono

depósito de arena

argolla de elevación

compresor de aire de frenos Westinghouse

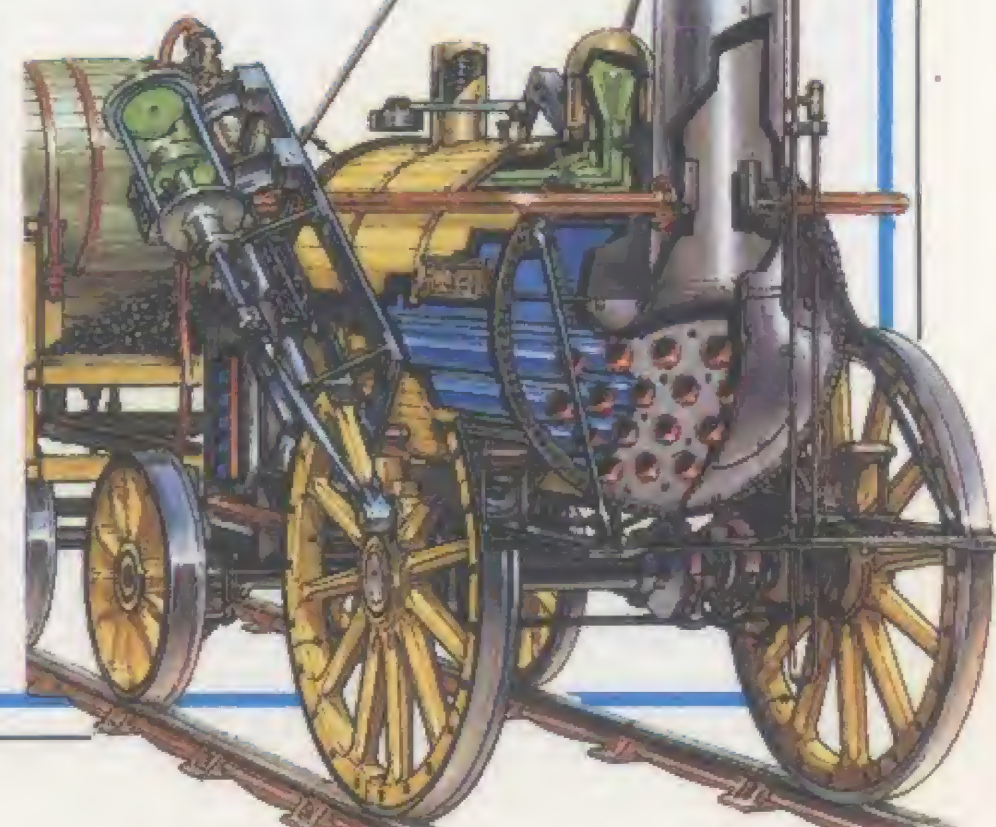
conexión diagonal entre dos bogies

motores de tracción (dos por bogie)

Esta locomotora utiliza una tensión extremadamente elevada, 15.000 voltios. La tensión se baja mediante transformadores y se convierte en continua mediante tiristores. Estos, además de transformar la

corriente alterna en continua, permiten regular la potencia. La utilización de corriente continua en los grandes motores permite grandes pares para el arranque del pesado tren, o bien para los cambios de régimen.

La *Rocket* ("Cohete"), locomotora de vapor de Stephenson, es la precursora de todas las locomotoras modernas de vapor. Podía alcanzar la increíble velocidad —en aquellos tiempos— de 47 km/h. Su reserva de agua estaba contenida en un barril de madera y el carbón era cargado con palas desde el piso de madera del tender, que constituía realmente la parte trasera del vehículo.



Logaritmo y otras funciones elementales

En los cursos básicos de Matemáticas se dan definiciones elementales de la *potenciación*, la *radicación* y la *logaritmación*. La primera de ellas, en principio, se introduce como una simple multiplicación reiterada; si a es un número cualquiera —entero, racional, real, o incluso complejo— llamado *base* y n un natural, denominado *exponente*, se llama *potencia* n -ésima de a , escribiéndose a^n y leyéndose "a elevado a la n", al producto

$$a^n = \underbrace{a \cdot a \cdot \dots \cdot a}_n$$

Las potencias de base a y exponentes 2 ó 3 se llaman *cuadrado* y *cubo* de a respectivamente; en el caso $n = 1$ se omite el exponente.

Como producto reiterado, la *potenciación* tiene las propiedades evidentes:

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n} \quad a^m : a^n = a^{m-n} \quad (a^m)^n = a^{mn} \\ a^n \cdot b^n = (a \cdot b)^n \quad a^n : b^n = (a/b)^n$$

A la operación inversa, es decir, a la de encontrar el número que elevado a n dé a , se le llama *radicación* de índice n , y a dicho número *raíz n -ésima* de a , que se escribe $\sqrt[n]{a}$. Evidentemente: $(\sqrt[n]{a})^n = a$.

Los casos de $n = 2$ y $n = 3$ se llaman *raíz cuadrada* —denotada \sqrt{a} — y *raíz cúbica* de a respectivamente.

Mientras que la *potenciación* tiene siempre solución, sea cual fuere a , no sucede lo mismo con la *radicación*. En primer lugar, la raíz —por ejemplo, cuadrada— de un número entero o racional puede no serlo; tal es el caso de $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt[3]{7}$, etc., que son irracionales; ello hoy no supone ningún problema, pero lo supuso durante siglos. Por otra parte, lo que es más importante, hay casos de raíces aparentemente simples, como $\sqrt{-4}$, imposibles; en efecto, ningún número (se entiende: *real*) tiene por cuadrado -4 .

Por múltiples razones conviene extender la *potenciación* al caso de exponentes más generales. Para ello se conviene (tras comprobar su consistencia con las anteriores definiciones elementales de potencia y raíz para exponentes naturales), que:

$$a^0 = 1 \quad a^{-n} = 1/a^n \quad a^{m/n} = \sqrt[n]{a^m}$$

con lo que la *potenciación* queda generalizada para exponentes racionales, aunque sea preciso entonces restringir la base a valores positivos; y ello a pesar de que haya potencias de base negativa que sí tengan sentido (por ejemplo $(-8)^{1/3}$ es -2 , pero $(-2)^{1/2}$ es imposible en el campo real). Aún puede seguirse avanzando y definir a^c , para cualquier $c \in \mathbb{R}$, con $a \in \mathbb{R}_+$; para ello, utilizando el *paso al límite*, se pone:

$$a^c = \lim_{n \rightarrow \infty} a^{c_n} \quad \text{si} \quad c = \lim_{n \rightarrow \infty} c_n$$

Definición y propiedades elementales del logaritmo Si se conoce el valor, x , que toma una potencia, a^y , de base conocida, a , y exponente desconocido, y , a éste

se le denomina *logaritmo en base a de x* , y a la operación de obtenerlo, *logaritmación* (de base a). Se suele escribir: $y = \log_a x$ y es fácil, a partir de las propiedades de la potenciación y de un modo elemental, probar que:

$$\log_a(x_1 \cdot x_2) = \log_a x_1 + \log_a x_2 \\ \log_a(x_1/x_2) = \log_a x_1 - \log_a x_2 \\ \log_a(x^k) = k \log_a x$$

En lo que precede es necesario suponer que la base a y el argumento x son números positivos; $y = \log_a x$ resulta positivo o negativo según que sea x mayor o menor que la unidad respectivamente. Es inmediato obtener valores sencillos de $\log_a x$; por ejemplo

$$\log_a(a^n) = n \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Por el contrario, cuando x es un número arbitrario, la obtención de su logaritmo es un problema más complicado que exige recurrir a métodos más avanzados del Análisis. En los últimos siglos se han construido tablas en las que se dan los mismos con gran aproximación. Normalmente se utilizan sólo logaritmos *vulgares* o de base 10 (en los cálculos prácticos) y de base el número e (en las cuestiones teóricas); a estos últimos suele llamárseles *naturales* o *neperianos*, en honor de Neper (o Napier), inventor de los *logaritmos*. Estos últimos suelen denotarse, simplemente, como $\log x$ o $\ln x$, en los textos de Análisis, omitiendo la base e . También suele omitirse la base en el caso decimal, utilizando algún artificio (por ejemplo, usar $\ln x$ y $\log x$ para logaritmos naturales y decimales respectivamente) si hay riesgo de error.

Las tablas de logaritmos suelen serlo de decimales o de naturales. Dados estos, el problema de obtenerlos para base cualquiera es sencillo, ya que si $y = \log_a x$ se tiene que $a^y = x$, y entonces:

$$\log_b x = y \log_b a \quad y = \log_a x = \frac{\log_b x}{\log_b a}$$

Definiciones histórica y moderna del logaritmo Los desarrollos sociales (cálculos astronómicos, de navegación, etc.) hicieron surgir en el siglo XVI la imperiosa necesidad de facilitar y simplificar los cálculos numéricos, fundamentalmente los de naturaleza trigonométrica. Así Georg Joachim Rheticus (1514-1576) inició la confección de unas grandes tablas trigonométricas, con 15 cifras, que serían completadas y publicadas por Otho en 1596 y Pitiscus en 1613. En ese ambiente, John Napier, señor de Merchiston (1550-1617), también conocido como Neper, inició en 1594 una labor, que le llevó unos 20 años, cuyo objeto era construir un útil para facilitar los cálculos numéricos; el resultado fue su particular versión de los *logaritmos* (anteriores a los conceptos de exponente fraccionario, función, etc.).

En 1544 Michael Stifel, en su *Arithmetica Integra* había señalado la correspondencia entre los términos de la progresión aritmética 0, 1, 2, 3, ... y los de la geométrica 1, 2, 4, 8, ... y, además, que el sumar en la primera correspondía a multiplicar en la segunda. Esta idea (hoy trivial porque es la particularización de la propiedad $r^{m+n} = r^m \cdot r^n$ para el caso $r = 2$) no tiene utilidad práctica porque los "huecos" que deja la progresión geométrica de razón 2 son muy grandes. Ahora bien, pensó Neper, si la razón de la progresión, r , fuera próxima a la unidad, sus potencias sucesivas diferirían en poco. Por eso Neper formó progresiones de razón $r = 0,9999999$ (es decir, $1 - 10^{-7}$). Su primera tabla la constituían los 100 números

$$10^7(1 - 10^{-7}) = 9.999.999,00000000$$

$$10^7(1 - 10^{-7})^{100} = 9.999.999,0004950$$

cuyos exponentes 1, 2, ..., 100 llamó *logaritmos* (de *logos*, razón y *arithmos*, número, en griego). La segunda tabla estaba formada con los 50 términos de la forma $10^7(1 - 10^{-5})^n$, con $n = 1, \dots, 50$. Ambas tablas eran auxiliares de una tercera de 21 filas y 69 columnas cuyos elementos eran

$$10^7 \left(1 - \frac{1}{2000}\right)^{p-1} \left(1 - \frac{1}{100}\right)^{q-1}$$

con $p = 1, \dots, 21$ y $q = 1, \dots, 69$. Esta ingeniosa tabla de $21 \times 69 = 1449$ números, entre 10.000.000 y 5.000.000 aproximadamente, era tal que cada columna empezaba por un número muy próximo al final de la anterior. En ella resultaba que los *logaritmos* de los números eran

$$(p - 1) \log 99950000 + (q - 1) \log 9900000;$$

(naturalmente, aquí *log* significa "logaritmo de la tabla de Neper"). Los valores correspondientes a 99950000 y 9900000 se podían obtener, con un poco de habilidad y cálculo, de las dos primeras tablas. Por interpolación se podían calcular también los logaritmos de valores intermedios. De hecho, Neper construyó una tabla de logaritmos de senos de ángulos entre 0 y 90°, de minuto en minuto.

Los trabajos de Neper se reflejaron en dos libros, uno pequeño de 1614, *Mirifici Logarithmorum Canonis Descriptio*, que era una introducción y guía para el uso de las tablas, y otro, escrito antes pero aparecido póstumamente en 1619, *Mirifice Logarithmorum Canonis Constructio*, en el que se explicaba la técnica utilizada para construir las tablas. Los *logaritmos* tuvieron un éxito notable y gran aceptación; su repercusión en la práctica, en la ciencia y en el propio desarrollo de la matemática fue enorme. El propio Kepler (1571-1630), nada más aparecer las tablas de 1614, parece que hizo uso de las mismas en sus cálculos astronómicos.

Conviene señalar que la asociación de progresiones aritméticas y geométricas para transformar productos en sumas flotaba en el ambiente y otros investigado-

res manejaban ideas semejantes. Así, por ejemplo, el constructor de instrumentos suizos Jost Bürgi desarrolló, independientemente de Neper y por la misma época que éste, aunque sus trabajos se publicaron después, unas tablas análogas de logaritmos. El matemático inglés Henry Briggs visitó en 1615 a Neper y, como resultado de sus conversaciones, aquel inventó unos *logaritmos* más "prácticos", tales que hicieran corresponder al número 1 el logaritmo 0 y al número 10 el logaritmo 1. Se crearon así los logaritmos de base 10. En 1624 Briggs publicó la primera tabla de los mismos, *Aritmetica Logarithmica*, que incluía los de los 20.000 primeros números, más los de los comprendidos entre 90.000 y 100.000 (con 14 cifras). El holandés Adrian Vlacq publicó en 1628 unas nuevas tablas de logaritmos vulgares entre 1 y 100.000 (con 10 cifras), que puede decirse terminan la época inicial y sirven de base a las tablas de los siglos siguientes.

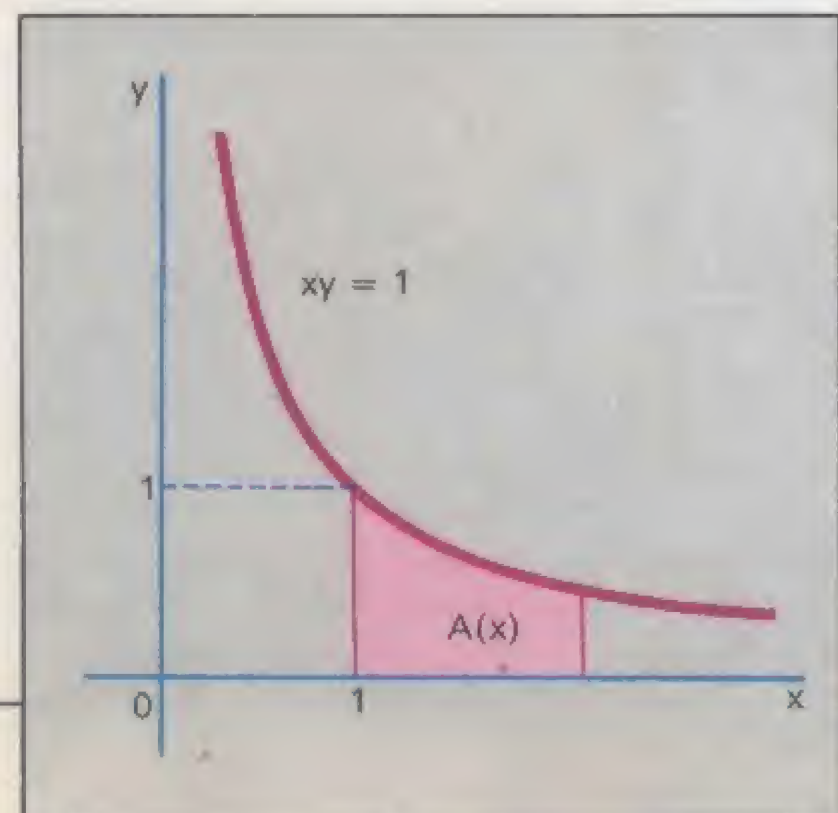
No sólo la invención histórica de los logaritmos nos parece hoy un tanto artificiosa. También la actual definición elemental lo resulta. Evidentemente, los logaritmos en base a de a^n tienen un significado intuitivo claro y su cálculo es obvio; sin embargo, no lo es tanto el de los logaritmos de los números x tales que $a^n < x < a^{n+1}$. Por ello, en el Análisis moderno se ha adoptado como definición del logaritmo neperiano la propiedad siguiente:

$$\log x = \int_1^x \frac{dx}{x}$$

que equivale a decir que $\log x = A(x)$, siendo $A(x)$ el área que la hipérbola equilátera $xy=1$ determina con el eje de abscisas entre los puntos 1 y x .

Resulta fácil, con tal definición, obtener valores numéricos (aproximadamente) para el logaritmo de cualquier número. No es difícil tampoco probar las propiedades del logaritmo.

Esta definición (que es una propiedad si se ha definido de modo elemental el *logaritmo*), sorprendente a veces para los estudiantes, es sin embargo conocida de antiguo. En 1647 un jesuita belga, Gregorio de San Vicente, descubrió las propiedades del área $A(x)$ determinada por la hipérbola; su amigo A. A. de Sarasa observó que dicha área tenía una propiedad



John Napier (1550-1617), también llamado Neper, fue el octavo barón de Merchiston (Escocia) y un curioso personaje. Según dijo le hubiera gustado pasar a la posteridad por su obra de 1593 *A Plaine Discovery of the Whole Revelation of Saint John* ("Sencillo descubrimiento de la Revelación total de San Juan"), pintoresco folleto en el que, siguiendo el estilo euclidiano, se probaba que el Papa era el Anticristo y que el fin del mundo sucedería en 1786. Su fama se debe, sin embargo, a una invención mucho más modesta pero de gran alcance teórico y práctico: la de los logaritmos. Sus obras al respecto —fruto de veinte años de trabajo— aparecieron en 1614 y 1619.



Justo Barboza

aditiva idéntica a la de los logaritmos. Hacia 1667 Newton obtenía el desarrollo en serie

$$A(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \dots$$

sin más que integrar el de

$$(1+x)^{-1} = 1 - x + x^2 - \dots$$

y reconocía el carácter logarítmico de $A(x)$ y $A(1+x)$, aunque sin identificarlos, como es lógico, con los correspondientes logaritmos naturales (el número e es un "descubrimiento" de Euler).

En 1668 Nicolas Mercator (1620-1687) publicó su *Logarithmotechnia*. Las dos primeras partes de la misma se dedican al cálculo de una tabla de logaritmos vulgares y en la tercera se dan algunos resultados teóricos, entre ellos el llamado "desarrollo de Mercator" (ya conocido, como se ha dicho, por Newton):

La curva $xy=1$, o si se prefiere la función $y=1/x$, tiene una interesante propiedad: el área $A(x)$ definida por la misma, el eje de abscisas y las rectas perpendiculares al mismo en los puntos 1 y x vale, precisamente, $\log x$. Este hecho, que se expresa analíticamente por las igualdades:

$$\int_1^x \frac{dx}{x} = \log x$$

$$\frac{d \log x}{dx} = \frac{1}{x}$$

puede servir, si se quieren obviar algunas de las dificultades de la definición elemental de logaritmo, para introducir el mismo (este es el método de muchos libros modernos).

$$\log(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \dots$$

Como es lógico, tampoco Mercator asoció estos *logaritmos* con el número e (que tardaría unos 80 años en aparecer en escena), pero en un artículo, aparecido en las *Philosophical Transactions* de 1668, los llama *naturales* y da el factor de proporcionalidad 0,43429 para transformarlos en logaritmos decimales. Precisamente hoy sabemos que

$$\log_{10} x = \frac{\log_e x}{\log_e 10} = \frac{\log_e x}{2,30258} = 0,43429 \dots \log_e x$$

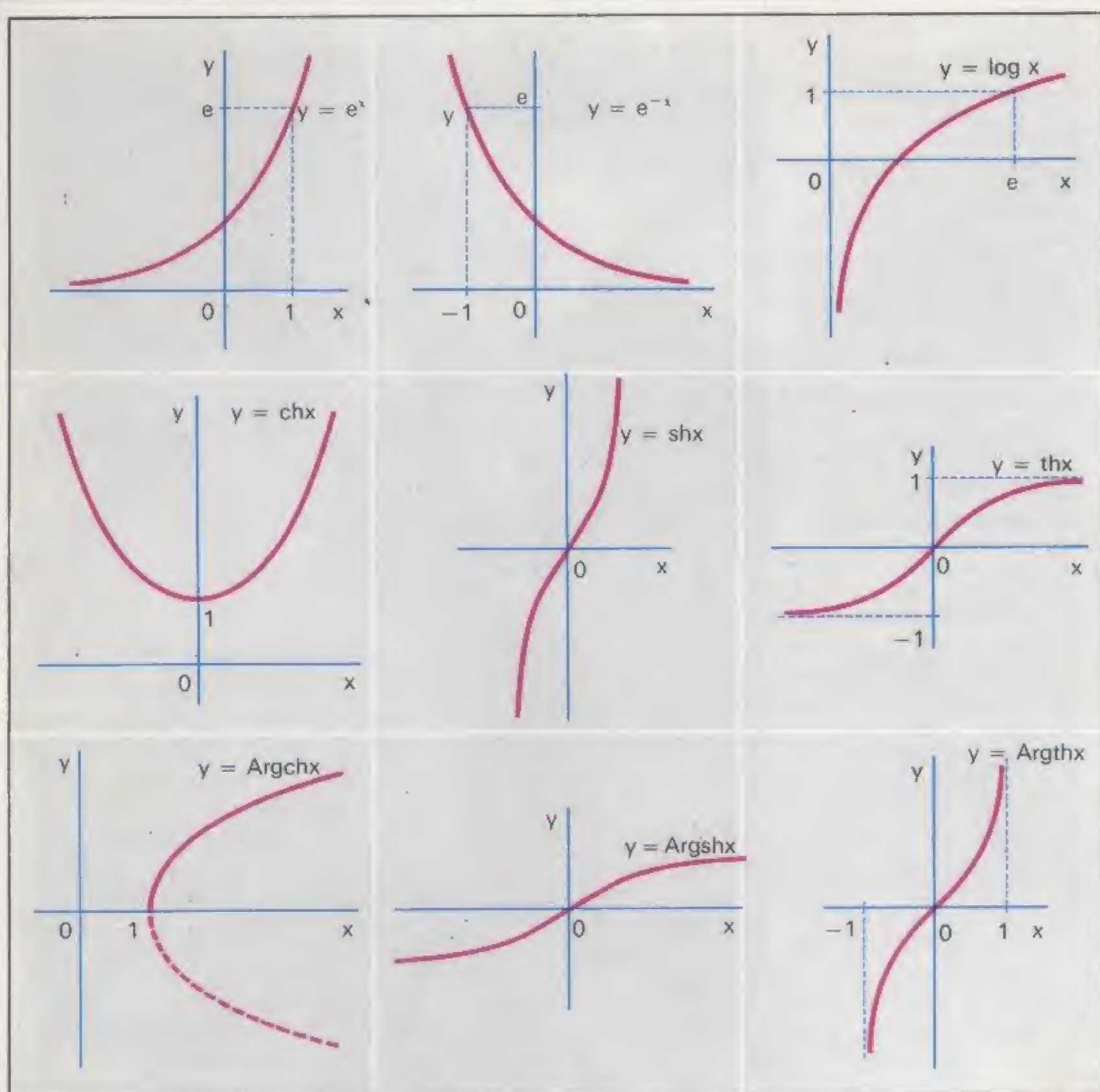
Funciones logaritmo y exponencial Se ha visto que dado un número real positivo a se puede, para cualquier real positivo x , determinar el valor $\log_a x$. Ello permite definir una función de \mathbb{R}_+ en \mathbb{R} , que se denota, precisamente, como \log_a , tal que:

$$x \rightarrow y = \log_a x$$

Habitualmente suele estudiarse sólo la función logarítmica de base el número e , que se denomina simplemente, logaritmo y se escribe $y = \log x$. Evidentemente se cumple que:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \log x = -\infty \quad \log 1 = 0 \quad \log e = 1 \quad \lim_{x \rightarrow \infty} \log x = \infty$$

Por otra parte se comprueba que $\log x$



La función exponencial, $y = e^x$ es, sin duda, una de las más sencillas e interesantes del Análisis. Su inversa, $y = \log x$, tiene una representación gráfica

que, si se cambian los ejes de coordenadas, coincide con la de aquella. Funciones "emparentadas" con la exponencial son

la exponencial negativa $y = e^{-x}$ y las funciones hiperbólicas $y = \operatorname{sh} x$, $y = \operatorname{ch} x$ e $y = \operatorname{th} x$, así como sus inversas,

respectivamente, $y = \operatorname{Argsh} x$, $y = \operatorname{Argch} x$ e $y = \operatorname{Argth} x$. Todas ellas se representan en la figura adjunta.

es una función continua y derivable en cualquier intervalo de \mathbb{R}_+ . Su derivada es: $D \log x = 1/x$. Igualmente puede probarse su integrabilidad en todo intervalo que no incluya el origen; su primitiva vale

$$\int \log x dx = x(\log x - 1) + C$$

También, de la propia definición, resulta la propiedad fundamental:

$$\log(x_1 \cdot x_2) = \log x_1 + \log x_2$$

De modo semejante puede definirse una función de \mathbb{R} en \mathbb{R}_+ que a cada número real le atribuye el valor a^x , siendo a un real positivo; se la denomina *exponencial* de x , de base a . Usualmente sólo se estudia el caso $a = e$ ya que $a^x = e^{x \log a}$. A la función de \mathbb{R} en \mathbb{R}_+ tal que:

$$x \rightarrow y = e^x$$

se le llama, simplemente, exponencial y se escribe $y = e^x$ (o, a veces, $y = \exp x$). Inmediatamente se comprueba que:

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} e^x = 0 \quad e^0 = 1 \quad \lim_{x \rightarrow \infty} e^x = \infty$$

La función exponencial es continua, de-

rivable e integrable y cumple la notable propiedad siguiente:

$$D e^x = e^x \quad \int e^x dx = e^x + C$$

Como en el caso logarítmico, de las definiciones elementales resulta la propiedad fundamental

$$\exp(x_1 + x_2) = \exp(x_1) \cdot \exp(x_2)$$

Tras lo anterior conviene señalar que *logaritmo* y *exponencial* son lo que se llama *funciones inversas* una de otra; es decir: si $y = \log x$ se tiene que $x = \exp y$. Por ello las gráficas de ambas coinciden sin más que cambiar de nombre los ejes. Además, ambas son continuas y transforman biyectivamente \mathbb{R}_+ en \mathbb{R} , y recíprocamente. Se trata, pues, desde el punto de vista topológico, de un *homeomorfismo* de \mathbb{R}_+ en \mathbb{R} (el logaritmo) o de \mathbb{R} en \mathbb{R}_+ (la exponencial). Pero, más aún, si se consideran \mathbb{R}_+ como grupo multiplicativo y \mathbb{R} como grupo aditivo, resulta que *logaritmo* y *exponencial* son *homomorfismos* entre ellos, que transforman los productos del primero en sumas del segundo, y recíprocamente.

En los cursos superiores de Análisis se

demuestran propiedades más avanzadas de estos dos funciones, las más simples entre las funciones trascendentes, llamadas por eso —junto a las trigonométricas— funciones *trascendentes elementales*. De modo esquemático se citan a continuación un par de ellas.

1. La función $y = \exp x$ es la solución de la ecuación diferencial ordinaria lineal y homogénea $y' - y = 0$ con la condición inicial $y(0) = 1$. También la ecuación diferencial ordinaria lineal y homogénea de segundo orden $y'' - y = 0$ tiene la solución $y = \exp x$ cuando se le imponen las condiciones iniciales $y(0) = y'(0) = 1$; sin embargo, tiene la solución $y = \exp(-x)$ cuando las condiciones son $y(0) = 1, y'(0) = -1$. De modo análogo cuando las condiciones impuestas son $y(0) = 1, y'(0) = 0$ o, por el contrario, $y(0) = 0, y'(0) = 1$ se obtienen como soluciones, respectivamente, dos combinaciones de las anteriores exponenciales, conocidas como coseno hiperbólico de x y seno hiperbólico de x (denotadas $\operatorname{ch} x$ y $\operatorname{sh} x$):

$$\operatorname{ch} x = \frac{1}{2}(e^x + e^{-x}) \quad \operatorname{sh} x = \frac{1}{2}(e^x - e^{-x})$$

A partir de éstas se define la llamada *tangente hiperbólica*, denotada $\operatorname{th} x$, como cociente y , naturalmente, las funciones inversas, *Argumento seno*, *Argumento coseno* y *Argumento tangente hiperbólicos*, denotadas $\operatorname{Argsh} x$, $\operatorname{Argch} x$ y $\operatorname{Argth} x$.

Las propiedades de la exponencial negativa y del seno y coseno hiperbólicos se deducen fácilmente de las de la exponencial ordinaria. Por otra parte, en esta perspectiva, la función logarítmica puede considerarse como la inversa de la exponencial o como la solución de la ecuación diferencial $x y' - 1 = 0$ que cumple que $y(1) = 0$.

2. La aplicación de la conocida fórmula de Taylor permite obtener los siguientes desarrollos en serie

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \dots + \frac{x^n}{n!} + \dots \quad x \in \mathbb{R}$$

$$\log(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \dots + (-1)^{n+1} \frac{x^n}{n} + \dots \quad -1 < x \leq 1$$

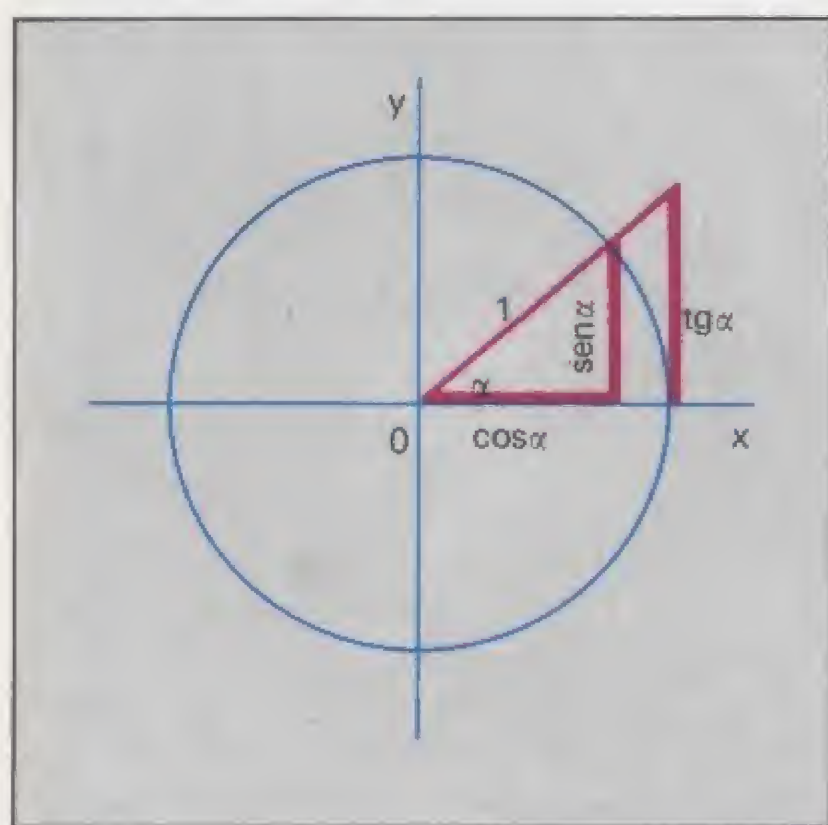
fórmulas estas últimas que, en combinación con las propiedades ya conocidas, pueden servir para calcular los valores de las funciones en un punto dados los correspondientes a otro (con la aproximación que se quiera, tanto más fácil de conseguir cuanto más próximos sean los puntos).

Las propiedades anteriores, conocidas de antiguo, pueden verse como tales si se han definido las funciones de un modo directo elemental. Ahora bien, las anteriores ecuaciones diferenciales y desarrollos pueden utilizarse como definiciones primitivas y, entonces, obtener las elementales como propiedades.

De hecho fue Euler (1707-1783), en su obra *Introductio in Analysin Infinitorum*, de 1748, quien dio las primeras definiciones

claras de exponenciales y logaritmos introduciendo el desarrollo de la exponencial y el propio concepto del número e.

Funciones trigonométricas En Trigonometría se define, de un modo elemental, el seno de un ángulo agudo α , que se denota $\text{sen } \alpha$, como el cociente de la longitud del cateto opuesto al mismo dividido por la de la hipotenusa, ambos del triángulo rectángulo que determinan los lados del ángulo y la perpendicular a uno de ellos trazada por un punto arbitrario del otro. Análogamente, se definen el coseno de α , como el cociente del cateto adyacente por la hipotenusa, y la tangente, como el cociente entre el cateto opuesto y el adyacente; estos últimos se denotan, respectivamente, $\cos \alpha$ y $\text{tg } \alpha$.



Las primitivas definiciones de las razones trigonométricas de un ángulo agudo, que daban el seno y el coseno como catetos opuesto y concurrente del mismo, cuya hipotenusa podía tener cualquier valor, ha ido evolucionando históricamente. Por un lado, se normalizó la hipotenusa al valor unitario y luego se extendió la definición para ángulos mayores de un recto, dando el seno y el coseno como ordenada y abscisa de un punto

que recorre la circunferencia de radio unitario y centro el eje de coordenadas rectangulares. Si se expresan los ángulos en radianes y se considera que las razones se repiten cuando el ángulo es superior a 2π se tendrían las definiciones trigonométricas modernas. En realidad el Análisis las ha superado al usar otros métodos (desarrollos en serie, ecuaciones diferenciales, relación con las exponenciales, etcétera).

Las anteriores definiciones y el teorema de Pitágoras conducen a:

$$\cos^2 \alpha + \text{sen}^2 \alpha = 1 \quad \text{tg } \alpha = \frac{\text{sen } \alpha}{\cos \alpha}$$

que prueban que, en realidad, bastaría definir una de las tres razones trigonométricas, por ejemplo el seno.

En general, las razones trigonométricas de un ángulo cualquiera no son números racionales, ni siquiera irracionales algebraicos, sino trascendentes. Sin embargo, hay casos elementales en los que toman valores sencillos, que pueden obtenerse además fácilmente; por ejemplo:

$$\begin{aligned} \text{sen } 0^\circ = \cos 90^\circ = 0 & \quad \text{sen } 90^\circ = \cos 0^\circ = 1 \\ \text{sen } 30^\circ = \cos 60^\circ = 1/2 & \\ \text{sen } 60^\circ = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2 & \end{aligned}$$

Cuando no se trata de casos tan simples hay que recurrir a procedimientos analíticos complicados. En la práctica, como sucede en el caso de los logaritmos, se recurre a tablas, elaboradas en los últimos siglos, que proporcionan tales valores (más usualmente el de sus logaritmos). Conviene señalar al respecto, que, al igual que aquéllas, el papel que cumplían como instrumentos de cálculo numérico imprescindibles se ha devaluado con el uso de los ordenadores.

En las aplicaciones prácticas de la trigonometría, y en las tablas, los ángulos suelen expresarse en grados sexagesimales; sin embargo, en las fórmulas y consideraciones teóricas se usan los ángulos medidos en radianes (un radián es la medida de un ángulo cuyo arco tiene la longitud del radio; es decir, 360° corresponden a 2π radianes). Este, por otra parte, es el uso adoptado en Análisis.

Por múltiples razones conviene extender las definiciones anteriores para el caso de ángulos no agudos; para ello se suponen los ángulos con vértices situados en el origen de un sistema rectangular de coordenadas a derechas (x positivas hacia la derecha, y positivas hacia arriba), y uno de sus lados coincidiendo con el semieje de las x positivas; además se considera trazada una circunferencia de centro al origen de coordenadas y radio unidad. Entonces es inmediato asimilar, para ángulos cualesquiera, el seno y el coseno a la ordenada y la abscisa del punto intersección del segundo lado con la citada

circunferencia. Para completar la definición se conviene en considerar ángulos positivos cuando se va del lado coincidente con el eje x al otro girando en sentido contrario a las agujas del reloj y negativo en el sentido contrario (lo que es congruente con que el sistema de coordenadas sea a derechas).

Naturalmente pueden considerarse incluso ángulos superiores a 2π sin ningún problema (sus razones trigonométricas serán las mismas que las del ángulo resultante de descontarle vueltas completas hasta quedar comprendido entre 0 y 2π). En cualquier caso,

$$-1 \leq \text{sen } \alpha \leq 1 \quad -1 \leq \cos \alpha \leq 1 \quad -\infty < \text{tg } \alpha < \infty$$

Aunque sea a riesgo de caer en la reiteración, conviene insistir en que la definición actual de las razones trigonométricas es obra de Euler. Antes de él se llamaba seno o coseno a los catetos de un ángulo rectángulo cuya hipotenusa no era necesariamente unitaria; por ejemplo, en las tablas de Neper la hipotenusa era 10^7 y, por tanto, senos y cosenos de un ángulo entre 0° y 90° variaban entre 0 y 10^7 .

A partir de las anteriores suele definirse también las llamadas secante, cosecante y cotangente en la siguiente forma:

$$\sec \alpha = \frac{1}{\cos \alpha} \quad \text{cosec } \alpha = \frac{1}{\text{sen } \alpha} \quad \cotg \alpha = \frac{1}{\text{tg } \alpha}$$

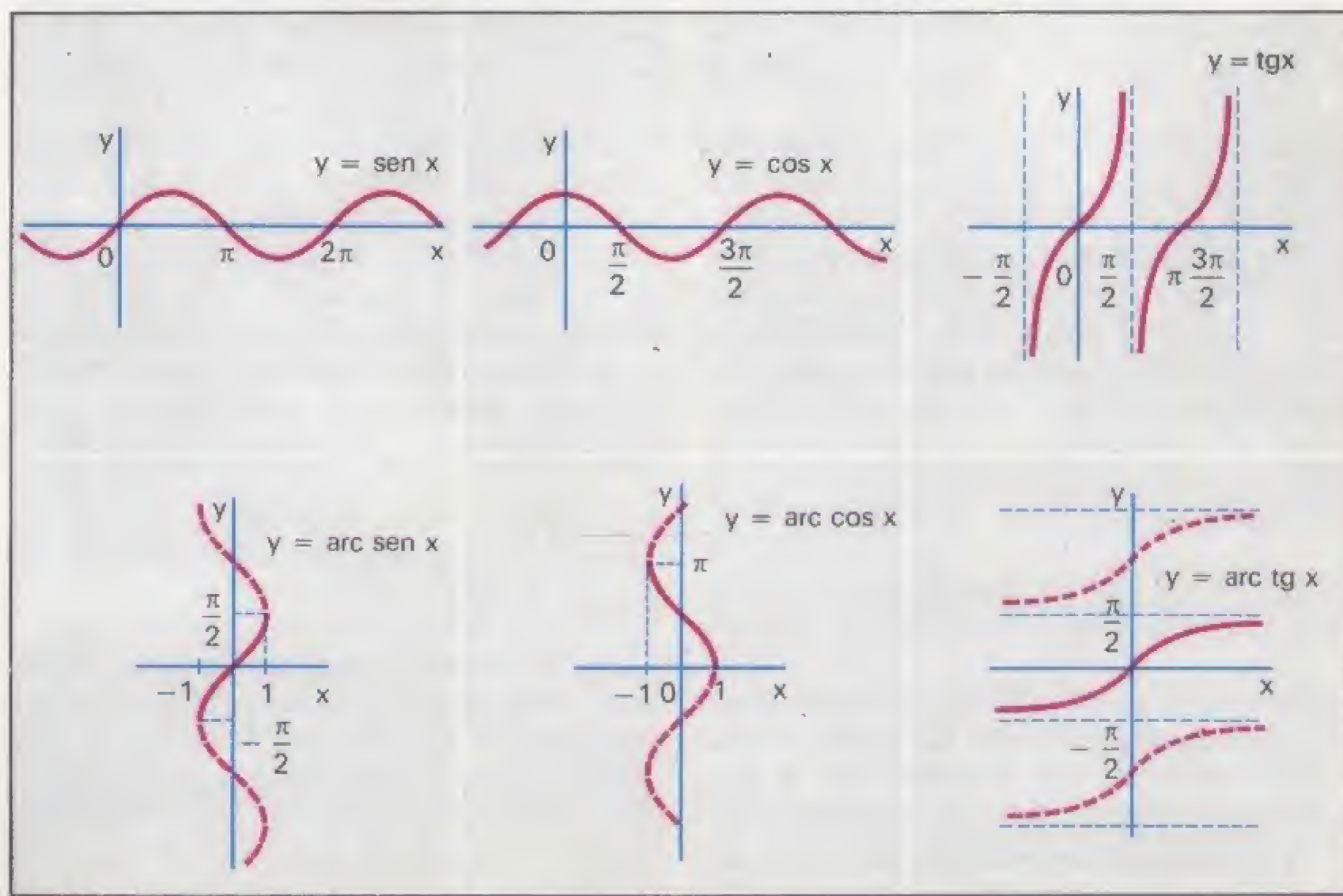
Es fácil considerar las razones trigonométricas como base para definir funciones de \mathbb{R} en \mathbb{R} . Basta para ello asignar a cada x los valores $\text{sen } x$, $\cos x$, $\text{tg } x$, etc. Es más, se acostumbra también a definir las funciones inversas $\text{arc sen } x$, $\text{arc cos } x$, $\text{arc tg } x$, etc. como aquellas que hacen correspon-

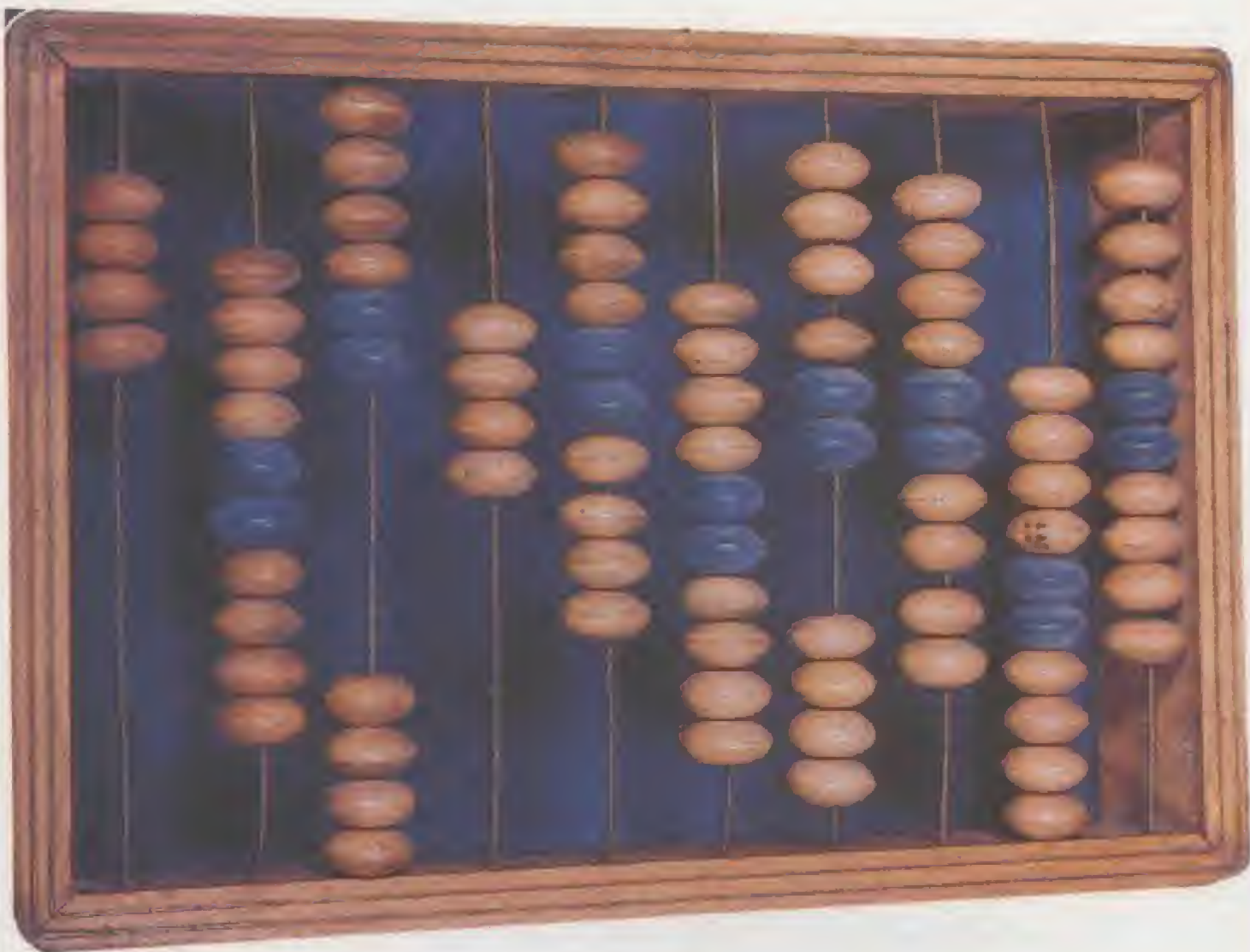
Las funciones trigonométricas, $y = \text{sen } x$, $y = \cos x$ e $y = \text{tg } x$, tienen representaciones gráficas muy sencillas, que se repiten

periódicamente, con período 2π . La del seno y coseno coinciden si se desplaza una de ellas $\pi/2$; la de la tangente puede obtenerse dividiendo

en cada punto los valores de las dos primeras. Las funciones inversas, $y = \text{arc sen } x$, $y = \text{arc cos } x$ e $y = \text{arctg } x$ son, en principio, multivaluadas; pueden

reducirse a funciones, en el sentido estricto del término, tomando sólo el llamado valor principal (en los gráficos en trazo continuo).





En las ilustraciones de esta doble página se muestran algunas etapas de la historia de los medios de cálculo: ábaco, tablas de logaritmos, regla de cálculo y ordenador (no todas: faltan, entre otros ejemplos, las máquinas de calcular mecánicas y electromecánicas). El ábaco es, evidentemente, el más conocido,

antiguo y sencillo de los instrumentos digitales. También se muestra una página de unas tablas de logaritmos. Durante tres siglos y medio han sido un medio de cálculo extraordinario en Astronomía, Topografía, Navegación, etc. La razón residía en que facilitaban las operaciones de multiplicar, dividir, potenciar, etc.,

sustituyéndolas, respectivamente, por las de sumar, restar, multiplicar, etc. Numerosos avances teóricos o prácticos en diferentes campos científicos y técnicos hubieran sido impensables sin ellas. El cálculo mecanizado, con grandes y pequeños ordenadores, ha devaluado en las últimas décadas tal instrumento.

der al número real x el número tal que su seno, coseno o tangente, respectivamente, valen x . A la vista de lo anterior es obvio que $\sin x$ y $\cos x$ están definidas para todo x , que oscilan entre los valores $+1$ y -1 , que son periódicas de período 2π , que $\cos x = \sin(x + \frac{\pi}{2})$, que ambas son continuas y derivables para todo x , que se cumple además que sus derivadas valen

$$D(\sin x) = \cos x \quad D(\cos x) = -\sin x$$

Incluso puede probarse que ambas funciones son soluciones de la ecuación diferencial: $y'' + y = 0$ cuando se dan condiciones iniciales en $x = 0$ determinadas (la seno cuando $y(0) = 0$ e $y'(0) = 1$, la coseno cuando $y(0) = 1$ e $y'(0) = 0$). También pueden obtenerse sus desarrollos en serie de potencias

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \dots + (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} + \dots \quad x \in \mathbb{R}$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \dots + (-1)^n \frac{x^{2n}}{(2n)!} + \dots \quad x \in \mathbb{R}$$

(aparecidos, por primera vez, en la ya citada *Introductio* de Euler). En cuanto a $\operatorname{tg} x$ puede considerarse definida por la fórmula $\operatorname{tg} x = \sin x / \cos x$, y a partir de ella obtener sus propiedades. Evidentemente, es periódica, ya que $\operatorname{tg}(2\pi + x) = \operatorname{tg} x$ y no

está definida en los puntos de la forma $2k\pi \pm \frac{\pi}{2}$ con $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ (en los que tiende a $\pm \infty$ respectivamente). En cualquier intervalo abierto que no contenga uno de dichos puntos es continua y derivable y se cumple $D(\operatorname{tg} x) = 1/\cos^2 x$.

En cuanto a las funciones inversas sólo están definidas en los siguientes casos: la $\operatorname{arc} \sin x$ y la $\operatorname{arc} \cos x$ cuando $-1 \leq x \leq 1$, la $\operatorname{arc} \operatorname{tg} x$ en todo \mathbb{R} . Se trata pues, en los dos primeros casos de funciones de $[-1, 1]$ en \mathbb{R} y en el último de una función de \mathbb{R} en \mathbb{R} . En todas ellas cabe la posibilidad de definir las como funciones en sentido estricto o como funciones multivaluadas, ya que, evidentemente, si se tiene, por ejemplo, $\alpha = \operatorname{arc} \cos x$ es que $\cos \alpha = x$ y, por tanto, también $\cos(\pm \alpha \pm 2k\pi) = x$, con k entero arbitrario. Normalmente, salvo indicación en contrario, se considera el arco seno como función de $[-1, 1]$ en $[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$, el arco coseno como función de $[-1, 1]$ en $[0, \pi]$ y el arco tangente como función de \mathbb{R} en $(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$.

Por otra parte es fácil probar que se trata de funciones continuas y derivables tales que:

$$D(\operatorname{arc} \sin x) = -D(\operatorname{arc} \cos x) = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$$

$$D \operatorname{arc} \operatorname{tg} x = \frac{1}{1+x^2}$$

Num. 255 - 259. Log. 406 - 410.											
Nº	Nº	Num.	0	1	2	3	4	5	6	7	P. P.
10	30	2550	406 5402	5572	5742	5912	6082	6252	6422	6592	171
31	51	2551	7105	7225	7345	7465	7585	7705	7825	7945	17.1
32	52	2552	8807	8927	9047	9167	9287	9407	9527	9647	17.2
33	53	2553	407 0508	0628	0748	0868	0988	1108	1228	1348	17.3
34	54	2554	2202	2322	2442	2562	2682	2802	2922	3042	17.4
35	55	2555	3509	3629	3749	3869	3989	4109	4229	4349	17.5
36	56	2556	3608	3728	3848	3968	4088	4208	4328	4448	17.6
37	57	2557	7307	7427	7547	7667	7787	7907	8027	8147	17.7
38	58	2558	3005	3125	3245	3365	3485	3605	3725	3845	17.8
39	59	2559	408 0702	0822	0942	1062	1182	1302	1422	1542	17.9
40	60	2560	2400	2520	2640	2760	2880	3000	3120	3240	180
41	61	2561	4096	4216	4336	4456	4576	4696	4816	4936	18.1
42	62	2562	6791	6911	7031	7151	7271	7391	7511	7631	18.2
43	63	2563	7486	7606	7726	7846	7966	8086	8206	8326	18.3
44	64	2564	3180	3300	3420	3540	3660	3780	3900	4020	18.4
45	65	2565	489 0874	0994	1114	1234	1354	1474	1594	1714	18.5
46	66	2566	3561	3681	3801	3921	4041	4161	4281	4401	18.6
47	67	2567	4367	4487	4607	4727	4847	4967	5087	5207	18.7
48	68	2568	4956	5076	5196	5316	5436	5556	5676	5796	18.8
49	69	2569	7641	7761	7881	8001	8121	8241	8361	8481	18.9
50	70	2570	9331	9451	9571	9691	9811	9931	1011	1021	190
51	71	2571	410 1021	1141	1261	1381	1501	1621	1741	1861	19.1
52	72	2572	2710	2830	2950	3070	3190	3310	3430	3550	19.2
53	73	2573	4395	4515	4635	4755	4875	4995	5115	5235	19.3
54	74	2574	6084	6204	6324	6444	6564	6684	6804	6924	19.4
55	75	2575	7772	7892	8012	8132	8252	8372	8492	8612	19.5
56	76	2576	9462	9582	9702	9822	9942	1012	1032	1052	19.6
57	77	2577	411 1144	1264	1384	1504	1624	1744	1864	1984	19.7
58	78	2578	2829	2949	3069	3189	3309	3429	3549	3669	19.8
59	79	2579	4513	4633	4753	4873	4993	5113	5233	5353	19.9
60	80	2580	6157	6277	6397	6517	6637	6757	6877	6997	200
61	81	2581	7840	7960	8080	8200	8320	8440	8560	8680	20.1
62	82	2582	9523	9643	9763	9883	10003	10123	10243	10363	20.2
63	83	2583	412 1244	1364	1484	1604	1724	1844	1964	2084	20.3
64	84	2584	2925	3045	3165	3285	3405	3525	3645	3765	20.4
65	85	2585	4605	4725	4845	4965	5085	5205	5325	5445	20.5
66	86	2586	6286	6406	6526	6646	6766	6886	7006	7126	20.6
67	87	2587	7967	8087	8207	8327	8447	8567	8687	8807	20.7
68	88	2588	9648	9768	9888	10008	10128	10248	10368	10488	20.8
69	89	2589	413 1321	1441	1561	1681	1801	1921	2041	2161	20.9
70	90	2590	2930	3050	3170	3290	3410	3530	3650	3770	210
71	91	2591	4674	4794	4914	5034	5154	5274	5394	5514	21.1
72	92	2592	6355	6475	6595	6715	6835	6955	7075	7195	21.2
73	93	2593	8036	8156	8276	8396	8516	8636	8756	8876	21.3
74	94	2594	9717	9837	9957	10077	10197	10317	10437	10557	21.4
75	95	2595	414 1374	1494	1614	1734	1854	1974	2094	2214	21.5
76	96	2596	2946	3066	3186	3306	3426	3546	3666	3786	21.6
77	97	2597	4687	4807	4927	5047	5167	5287	5407	5527	21.7
78	98	2598	6368	6488	6608	6728	6848	6968	7088	7208	21.8
79	99	2599	8049	8169	8289	8409	8529	8649	8769	8889	21.9
80	100	2600	9730	9850	9970	10090	10210	10330	10450	10570	220

$$= 3,141 5827 \quad \log e = 0,434 2945 \quad R = 206264,81 \quad \log R = 5,314 4251$$

Una propiedad que se deduce inmediatamente de la última fórmula es el conocido desarrollo en serie

$$\operatorname{arc} \operatorname{tg} x = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \dots + (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{2n+1} + \dots$$

$$x \in \mathbb{R}$$

que permite obtener múltiples resultados curiosos, por ejemplo (haciendo $x = 1$):

$$\frac{\pi}{4} = 1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \dots + (-1)^n \frac{1}{2n+1} + \dots$$

(resultado obtenido por Leibniz hacia 1673 ó 1674).

Relaciones entre las funciones trascendentes elementales Hay dos cuestiones que conviene aclarar antes de terminar una ojeada, por breve que sea, a la teoría de las funciones trascendentes elementales. La primera es la relativa a las limitaciones impuestas en el campo real a exponenciales y logaritmos y a la posibilidad de dar sentido a expresiones como $(-1)^n$ ó $\log(-2)$. La segunda, más sutil, es la de saber si existe alguna relación entre la función exponencial (o, si se quiere, la logarítmica) y las trigonométricas; las analogías entre los desarrollos en serie o entre las ecuaciones diferenciales de una y otras hacen intuir que pueda existir una

La forma más sencilla de una "regla de cálculo" es simplemente un par de "reglillas", una deslizante sobre la otra, con los números escritos en una *escala logarítmica* (es decir, la distancia de 10 a 100 es la misma que la de 1 a 10). Cuando se "suman distancias", superponiendo las reglas, se "leen"

Durante mucho tiempo, ingenieros y científicos llevaban consigo una regla de cálculo para hacer de modo rápido (y relativamente sencillo) cálculos aproximados. Hoy, los ordenadores de mesa y bolsillo reemplazan a aquéllas con enormes ventajas, habiéndolas relegado

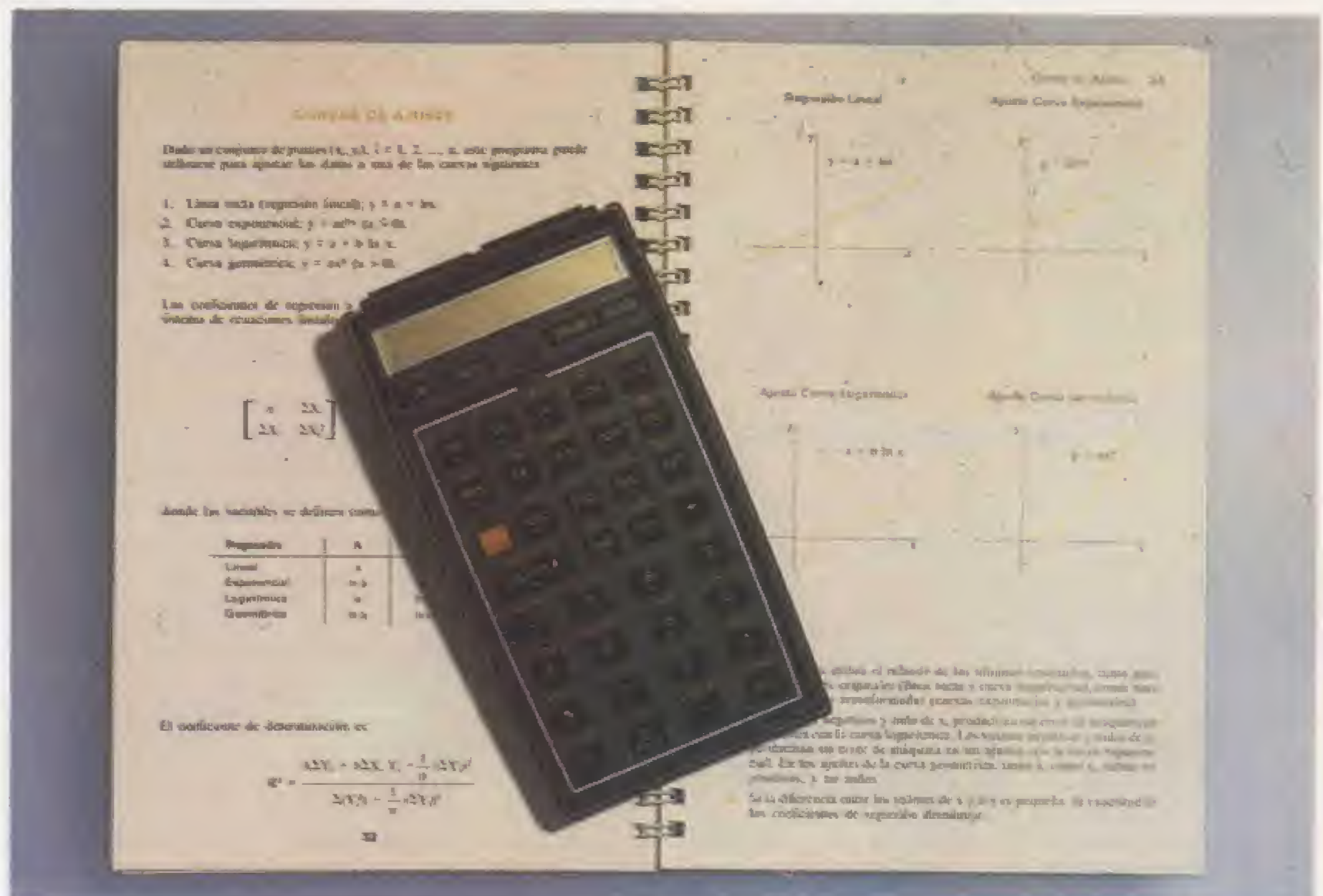
de tal forma que a los jóvenes actuales les parecen casi contemporáneas de los ábacos chinos. El ordenador ha sustituido a la regla de cálculo por su rapidez, exactitud, versatilidad, comodidad y, en términos comparativos, también por su precio. La "regla" es un

instrumento "analógico" y "aproximado"; el ordenador es "digital" y "exacto". Los modernos ordenadores de bolsillo tienen incorporados por "hardware" (es decir "cableados") las funciones usuales (exponencial, logaritmo, trigonométricas, etc.).



tiene la primera idea sobre la escala logarítmica; hacia 1622 William Oughtred había ya inventado una regla. Numerosos matemáticos teóricos e inventores prácticos aportaron sucesivas mejoras. Son importantes, por ejemplo, los desarrollos y perfeccionamientos de William Nicholson (1753-1815) y de André Mannheim (1831-1906).

productos. Las reglas prácticas —como la de la figura— son bastante sofisticadas y perfeccionadas. El más antiguo antecedente es de 1620, cuando Edmund Gunter



relación estrecha que las definiciones elementales no permiten ni sospechar.

Ambas cuestiones, sorprendentemente, tienen una solución común: la de pasar al plano complejo. ¿Cómo? De la forma más inmediata y lógica posible. En principio no tiene sentido hablar de la exponencial y, menos aún, del seno o coseno de un número complejo; por ello mismo, no hay nada que impida al matemático llamar así a funciones de variable compleja, definidas *ex novo*, aunque sí parezca razonable exigirle las dos condiciones siguientes:

Una: que las citadas funciones de variable compleja tengan propiedades iguales o, al menos, análogas a sus homónimas de variable real.

Dos: que cuando la variable compleja $z = x + iy$ se reduzca a la real x , las correspondientes funciones se reduzcan a las exponencial y trigonométricas ordinarias.

Basta para cumplir ambos requisitos expresar $\exp z$, $\sin z$ y $\cos z$ como funciones analíticas (es decir desarrollables en serie de potencias) definidas en todo el plano complejo, precisamente, por los desarrollos de Euler, que se saben válidos para variable real; es decir:

$$e^z = 1 + z + \frac{z^2}{2!} + \dots + \frac{z^n}{n!} + \dots$$

$$\sin z = z - \frac{z^3}{3!} + \dots + (-1)^n \frac{z^{2n+1}}{(2n+1)!} + \dots$$

Se comprueba fácilmente que tales series convergen para todo z , por lo que definen funciones analíticas, que cumplen las dos condiciones antes citadas y además, una simple sustitución, muestra la relación buscada:

$$e^{iz} = \cos z + i \sin z \quad e^{-iz} = \cos z - i \sin z$$

expresiones que, a su vez, conducen a

$$\cos z = \frac{e^{iz} + e^{-iz}}{2} \quad \sin z = \frac{e^{iz} - e^{-iz}}{2i}$$

que, cuando z se reduce a x , dan las interesantes relaciones:

$$\cos x = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2} \quad \sin x = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$$

y también:

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

$$e^{-ix} = \cos x - i \sin x$$

que hubieran permitido, si se hubiese querido, definir directamente la exponencial de un complejo $z = x + iy$ como otro complejo de módulo e^x y de argumento y (ya que $e^{iy} = \cos y + i \sin y$ es un complejo de

módulo unidad y argumento y). Estos resultados, presentados de este modo en los textos matemáticos actuales, fueron obtenidos, heurísticamente, ya por Euler. Por otra parte permiten dar sentido a las exponenciales en cualquier caso; por ejemplo $e^{2\pi i} = 1$.

Por último, puede ahora definirse al logaritmo neperiano como función inversa de la exponencial. En efecto, si $w = u + iv$ es el logaritmo de $z = x + iy$, se tendrá que cumplir:

$$e^w = e^{u+iv} = e^u(\cos v + i \sin v) = z = x + iy$$

$$e^u = |z| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$v = \arg z = \arctg \frac{y}{x} + 2k\pi$$

y, por tanto:

$$\log z = \log \sqrt{x^2 + y^2} + i(\arctg \frac{y}{x} + 2k\pi)$$

función multiforme que se reduce a unívoca (el llamado *valor principal* del log) si se toma $k=0$.

Análogamente, se podría ahora ya dar sentido a cualquier potencia; por ejemplo

$$(-1)^\pi = (e^{\pi i})^\pi = e^{-\pi^2 i} = \cos(\pi^2) + i \sin(\pi^2)$$

Véase **Análisis matemático; Derivada y diferencial; Ecuaciones diferenciales; Función matemática; Integrales; Series; Trigonometría**

Lógica matemática

La Lógica, como disciplina filosófica, ha tenido por objeto durante siglos el establecimiento de reglas para conducir rectamente el discurso racional. Para ello ha tratado de conseguir procedimientos de razonamiento que condujesen a conclusiones *necesariamente verdaderas* por la propia estructura de los mismos. Por ejemplo, puede no saberse nada sobre *A* pero es *lógicamente* verdad que "*A* es *B* o no-*B*". Es en esa distinción entre lo *material* (que sea lo verdadero *realmente* sobre *A*) y lo *formal* (por su estructura, "*A* es *B* o no-*B*" tiene que ser verdadero lógicamente) en la que está basada la lógica.

En Grecia, sobre todo por obra de Aristóteles, la Lógica, desarrollada retóricamente (es decir, en lenguaje ordinario), alcanza un punto difícilmente superable. Durante dos milenios el pensamiento filosófico no produce aportaciones decisivas a la misma, aunque sí innumerables glosas, ampliaciones, etc., ya que se la consideraba prácticamente acabada y perfecta. Sin embargo, no faltaron en ese tiempo espíritus inquietos que buscaban escapar de los moldes de Aristóteles y la Escolástica de muchas maneras —preconizando otros procedimientos lógicos, reclamando la prioridad de la experiencia sobre el razonamiento, etc.— y también los hubo que persiguieron un empeño diferente: el de automatizar, mecanizar, algebrizar, algoritmizar diríamos en términos más modernos— los procedimientos lógicos. Ramón Lull (1253-1265) con su *Ars Magna* hizo una aportación, muy controvertida, en tal sentido, pudiendo, en cierto modo, ser considerado como uno de los precursores de lo que hoy llamamos *Lógica matemática* o *simbólica* y que antes ha sido denominada de múltiples modos, más o menos afortunados ("logística" o "álgebra de la lógica", por ejemplo). La *Lógica matemática* es la variedad de lógica caracterizada por utilizar símbolos o notaciones, como la matemática, manipulables de un modo *algebraico* y según el método axiomático, para conseguir reglas de razonamiento puramente formal y automático.

Fue precisamente Leibniz (1646-1716), por cierto lector de Lull, el iniciador, ya relativamente claro, de la Lógica matemática, con su búsqueda de un procedimiento de razonamiento universal y su sueño de una máquina automática para realizarlo. Sin embargo, hay que esperar a George Boole (1815-1864) y Augustus de Morgan (1806-1878) para que aparezcan sistemas del tipo de los actuales. Puede decirse, al respecto, que la Lógica moderna nace en 1847 con la obra de Boole, *The Mathematical Analysis of Logic*, ampliada en 1854 por *An Investigation of the Laws of Thought*, también aparece en 1847 el libro de Morgan *Formal Logic*. Frege (1848-1925) y Peano (1858-1932) avanzan nuevos desarrollos, hasta que la disciplina se consolida en los *Principia Mathematica* (1910-1913) de Russell y Whitehead. Con posterioridad, numerosos lógicos y matemáticos —fundamentalmente en Ale-

mania, Polonia, Inglaterra y Estados Unidos— producen un período de esplendor en la misma (Hilbert, Post, Bernays, Church, Carnap, Lukasiewicz, Tarski, Gödel, etc.). Los paralelos desarrollos de las teorías de conjuntos, de algoritmos, autómatas, etc., las investigaciones sobre los fundamentos de la Matemática y en torno a diferentes cuestiones filosóficas (de Filosofía de la ciencia, del lenguaje, etc.) se interrelacionan de forma estrecha y fecunda con los propios de la Lógica matemática y dan origen a que los nombres de Cantor, Zermelo, Zorn, Brouwer, von Neumann, Turing, Wittgenstein, etc. y sus trabajos sean relevantes también al caso.

En lo que sigue se darán algunas ideas breves, y simplificadas al máximo, de algunos de los temas más sencillos de la Lógica matemática, en especial sobre el *cálculo de proposiciones* que, sin salirse de un terreno elemental, permite poner de manifiesto algunos de los conceptos y métodos fundamentales en la misma.

Lógica de proposiciones Un primer ejemplo de las posibilidades de la Lógica matemática lo ofrece el tratamiento que la misma hace de la llamada *lógica de las proposiciones* (a veces, también, denominada *álgebra o cálculo de las proposiciones*). Una *proposición* es un enunciado del que se puede decir que es *verdadero* o *falso*; las *proposiciones* se suelen designar por letras: *p, q, r, s*, etc. y los dos valores de *verdad*, verdadero y falso, por *V* y *F* o, más cómodamente, por las cifras 1 y 0, respectivamente. Suele distinguirse entre proposiciones *simples* (o *atómicas*) y *compuestas* (o *moleculares*); las primeras son aquellas en las que no intervienen conjunciones, y las segundas, en las que sí. Ejemplos de ambos casos serían, respectivamente, los siguientes: "Pedro juega"; "Pedro juega y Juan descansa".

La adopción del término *proposición* se justifica porque el mismo va adquiriendo progresivamente carta de naturaleza en los textos de Lógica matemática en castellano. Ello a pesar de que, desde diferentes puntos de vista (purismo lingüístico, adecuación a la terminología tradicional, etc.), tal vez fueran preferibles otros términos, como el mismo de "enunciado", o, quizá, los obvios de "oración" o "sentencia"; éste último, en su acepción de "frase" u "oración", tendría además la ventaja de traducir literalmente la palabra usada en la literatura anglosajona (*sentence*).

En esta lógica se manejan *variables* (las letras que indican proposiciones) y *constantes* o *conectivas*, que indican partículas de conexión entre *proposiciones*, como las conjunciones *y*, o, etc., o *modificativas* de una proposición, como el adverbio *no*.

Dichas *conectivas* se denotan por *signos* especiales, a los que se da un sentido preciso estableciendo los valores de *verdad* que corresponden a la fórmula en función de los que tienen las variables. Por ejemplo, la conectiva "*~*" representa la *negación*, de modo que *~p* se lee "no *p*" y su valor de verdad es 0 ó 1 según que el de

p sea 1 ó 0, respectivamente. Análogamente, la conectiva "*∨*" representa la *disyunción* (inclusiva), de modo que *p ∨ q* se lee "*p* o *q* (o ambos)" y su valor de verdad es 1 salvo que sean 0, a la vez, los de *p* y *q* (en otros términos: para que *p ∨ q* sea verdadero basta que lo sea una de las dos, *p* ó *q*; más claro aún: *p ∨ q* es verdadera si lo es *p*, si lo es *q* o si lo son ambas).

Con las dos conectivas anteriores es suficiente para desarrollar la lógica de las proposiciones; hay otras usuales que, sin embargo, pueden reducirse a ellas. A las más frecuentes suele dárseles nombres y símbolos especiales y definirlos directamente, como se hace a continuación.

El *producto lógico* o simplemente, *conjunción* se denota por "*∧*", que representa la conjunción copulativa "*y*", de modo que *p ∧ q* se lee "*p* y *q*" y es verdadera sólo si lo son *p* y *q* simultáneamente.

La conectiva "*→*" se llama *condicional*; *p → q* se lee "si *p*, entonces *q*", y se define *exactamente* como la proposición que es verdadera siempre, salvo que sean *p* verdadero y *q* falso simultáneamente. En el lenguaje ordinario suele leerse también, con algún inconveniente, como: "*p* implica *q*". Este uso se corresponde con el hecho de que *p → q* puede interpretarse como *implicación material*, regla lógica ya conocida por Filón de Megara (siglo IV a. de C.), utilizada desde entonces por los estoicos y algunos escolásticos y caída luego en desuso hasta su reaparición por obra de Frege (1879) y Peirce (1885).

La conectiva "*≡*" se llama *bicondicional* o *equivalencia* lógica; *p ≡ q* es lo mismo que *(p → q) ∧ (q → p)* y es verdadera cuando *p* y *q* son los dos, a la vez, verdaderos o falsos.

No es difícil comprobar la afirmación hecha antes de que estas conectivas y otras más podrían haberse reducido a las dos iniciales. En efecto: *(p ∧ q)* puede ponerse como *~(~p ∨ ~q)* y *(p → q)* como *(~p ∨ q)*.

Para probar lo anterior sin recurrir a argumentaciones lógicas complicadas sino, simplemente, usando las definiciones se usan las *tablas de verdad* de las distintas conectivas. Se trata, para una fórmula dada en la que intervienen *n* variables, de ver todos los valores de *verdad* que corresponden a las *2ⁿ* posibilidades. Ejemplos elementales de dichas tablas son los siguientes:

<i>p</i>	<i>~p</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>p ∨ q</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>p → q</i>
1	0	1	1	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1	0	0
		0	1	1	0	1	1
		0	0	0	0	0	1

Con lo anterior se conoce el manejo de *variables* y cómo *conectarlas* por signos constantes. Se sabe además encontrar los correspondientes valores de verdad de las fórmulas correspondientes. Pero ¿cuál es el objeto de la lógica de las proposiciones? Obtener fórmulas que, con independencia de los valores de las variables, tengan como valor de verdad 1, es decir

las llamadas *tautologías*. Por ejemplo: la variable p puede tomar un valor 0 ó 1 pero, evidentemente, $p \vee \sim p$ lo tendrá siempre 1, como se comprueba construyendo, paso a paso, la tabla

p	$\sim p$	$p \vee \sim p$
1	0	1
0	1	1

Se pueden obtener así innumerables *tautologías* o fórmulas lógicamente válidas o verdaderas.

A continuación se dan unas muy básicas:

T1a	$p \rightarrow p$
T1b	$p \equiv \sim \sim p$
T2	$\sim(p \wedge \sim p)$
T3	$p \vee \sim p$
T4	$p \equiv \sim(\sim p)$

En lenguaje ordinario y con un poco de libertad, T1a y T1b se interpretarían como que "si p , entonces p " o que " p equivale a p "; T2, como que "no son verdaderas, a la vez, p y no- p " y T3, como " p o no- p " (versiones simbólicas de los tradicionales principios de *identidad*, *no contradicción* y *tercio excluso*). T4 sería la ley de la doble negación por la que "la negación de la negación de p equivale a p ".

Puede haberlas mucho más complicadas, por ejemplo las llamadas *leyes de Morgan*

T5a	$\sim(p \wedge q) \equiv (\sim p \vee \sim q)$
T5b	$\sim(p \vee q) \equiv (\sim p \wedge \sim q)$

conocidas ya de antiguo, al menos desde Occam. O, también, interviniendo más variables, como, por ejemplo:

$$T6 \quad ((p \rightarrow q) \wedge (r \rightarrow s) \wedge (p \vee r)) \rightarrow (q \vee s)$$

que es la llamada *ley del dilema*.

Aparte del recurso a las tablas de verdad, para la correspondiente comprobación de su carácter tautológico o no, cabe otra posibilidad de evaluación de las fórmulas, la de usar propiedades algebraicas. En efecto: un conjunto de proposiciones tal que se incluya en el mismo la disyunción y conjunción de cualquier par y la negación de cada una de ellas puede considerarse como un *retículo distributivo*, tomando $p \vee q$ y $p \wedge q$ como *unión* e *intersección*, respectivamente, ya que, como se comprueba inmediatamente, tales operaciones algebraicas son conmutativas, asociativas, idempotentes y tienen las propiedades de absorción y distributiva de una respecto a otra, admitiendo, claro está, la equivalencia lógica como *igualdad*. Es más, tomando como complementario de p , a su negación $\sim p$, y como elementos universal e ínfimo a una tautología y a su negación, el retículo tiene todas las propiedades de un álgebra de Boole.

Se podría, entonces, para obtener fórmulas válidas, aplicar reglas puramente algebraicas. En particular, para la evaluación de una fórmula dada, cabría seguir el

Gottlob Frege (1848-1925) fue un oscuro profesor de matemáticas en la Universidad de Jena entre 1879 y 1918. Fue, sin embargo, uno de los creadores de la Lógica matemática y uno de los pensadores con aportaciones más importantes a la fundamentación de la Matemática. Por múltiples razones (incluidas sus no buenas relaciones con otras grandes figuras, como Hilbert) su labor no fue reconocida hasta que Russell puso de relieve que era el precursor indiscutible de su propio trabajo. Frege fue, en cierto modo, el primer exponente del "logicismo" con su reducción de la aritmética a lógica. Se le deben, entre otros desarrollos, el concepto de número como cardinal, la introducción de cuantificadores, la iniciación de la Metalógica, etc. Entre sus obras destaca *Grundlagen der Arithmetik* ("Fundamentos de la Aritmética"), de 1884.



Justo Barboza

procedimiento que se usa, precisamente, en muchas aplicaciones del álgebra booleana (por ejemplo, en circuitos digitales), y que consiste en reducir la fórmula a su forma *canónica* o *normal*. Una fórmula está en dicha forma cuando se ha escrito como conjunción de disyunciones; la fórmula será *lógicamente verdadera* cuando cada una de las disyunciones argumentos de la conjunción contenga, por lo menos, la disyunción de una de las variables proposicionales y su negación. Así será, evidentemente, conjunción de expresiones cuyo valor de verdad será la unidad; además, bastaría que una no lo fuera para que no pudiera serlo la conjunción.

Conviene, antes de continuar, observar la importancia que tienen los símbolos en la lógica matemática. Tratar de conseguir el sistema más simple, que pueda manejarse del modo más riguroso y, además, que sea aceptado universalmente es un empeño razonable pero tal vez inalcanzable. Los usos y costumbres de los autores, la finalidad de cada estudio, etc. han hecho que existan diferentes símbolos para unas mismas *conectivas*. En los párrafos precedentes, y en los siguientes, se ha adoptado un sistema "ad hoc" que coincide casi con el de Peano-Russell (con las excepciones de usar para el condicional $p \rightarrow q$, la notación de Hilbert, en vez de $p \supset q$, y $p \wedge q$ en vez de $p \cdot q$ para la conjunción).

Otra cuestión interesante es la utilización de representaciones gráficas en lógi-

ca. La clásica de los diagramas de Venn (o de Venn-Euler) en las álgebras de Boole —sean de clases, proposiciones, etc.— es una de las posibilidades para representar gráficamente cuestiones lógicas. Hay otras: por ejemplo la de Gosset, de la que se da una muestra en la página 1875.

El cálculo proposicional como sistema formalizado La lógica de las proposiciones, de la que se acaba de presentar —de modo simple y conciso— una versión intuitiva o *ingenua*, puede también admitir una versión formalizada y axiomatizada, convirtiéndose en lo que a veces se denomina un *cálculo*.

¿Qué se entiende por dar una versión formalizada y axiomatizada de una teoría? Quiere decirse que: se introducen unos signos primitivos no definidos (libres de significación concreta y, por tanto, susceptibles de unas u otras interpretaciones), a partir de los cuales pueden definirse otros; se dan una reglas para elaborar fórmulas bien formadas con dichos signos; se elige una lista de dichas fórmulas bien formadas de entrada, como válidas sin prueba o *axiomas*; y, por último, se adoptan unas reglas para inferir o deducir las demás fórmulas válidas como *teoremas*.

Pues bien, es posible dar a la lógica de las proposiciones la forma de un sistema axiomatizado. Su desarrollo inicial se debe a Frege y Peano y una versión completa aparece ya en los *Principia Mathematica* de Russell y Whitehead; más tarde, dife-

rentes autores —Hilbert, Lukasiewicz, etc.— han dado distintas formulaciones. A continuación presentamos, de modo un tanto simple y sucinto, una de las más difundidas.

1. *Signos primitivos.* Se consideran signos indefinidos las letras proposicionales: p, q , etc., las conectivas " \wedge " y " \vee " y los paréntesis "(" y ")".

Signos definidos. Son signos definidos las conectivas adicionales que se quieran utilizar: por ejemplo,

$p \wedge q$ definida como $\sim(\sim p \vee \sim q)$
 $p \rightarrow q$ definida como $\sim p \vee q$
 $p \equiv q$ definida como $(p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$

2. *Reglas de formación.* Son fórmulas bien formadas: las letras proposicionales; el resultado de escribir una letra o una fórmula bien formada tras la conectiva; y el resultado de escribir una letra o una fórmula bien formada antes y otra después de la conectiva " \vee "; los paréntesis se utilizan para evitar ambigüedades.

3. *Axiomas.* Se adoptan como axiomas fórmulas lógicamente válidas o verdaderas de las que puedan deducirse las demás. Por ejemplo, las siguientes:

AL1 $(p \vee p) \rightarrow p$
 AL2 $p \rightarrow (p \vee q)$
 AL3 $(p \vee q) \rightarrow (q \vee p)$
 AL4 $(p \rightarrow q) \rightarrow ((r \vee p) \rightarrow (r \vee q))$

4. *Reglas de inferencia.* Las demás fórmulas lógicamente válidas son *teoremas* que se deducen de las anteriores por las dos *reglas de inferencia* siguientes:

• R1a: *De sustitución en variables.* De una fórmula verdadera se obtiene otra al sustituir cualquier letra proposicional por una fórmula bien formada arbitraria, es decir, susceptible de ser verdadera o falsa en todos los casos en que figure.

• R1b: *De sustitución por definición.* De una fórmula verdadera se obtiene otra al sustituir cualquier fórmula por cualquier otra equivalente según las definiciones de las constantes del sistema.

• R2: *De separación.* Si P y Q representan fórmulas tales que P y $P \rightarrow Q$ son ambas verdaderas, también lo es Q .

Lógica de predicados Otro capítulo interesante de la Lógica matemática es la *Lógica de predicados*, también llamada —por lo que se verá— *Lógica o cálculo cuantificacional*. Las ideas básicas del mismo se resumen a continuación de forma muy simplificada. En la lógica de las proposiciones éstas son enunciados arbitrarios, de los que no se entra a analizar su estructura. Sin embargo, la lógica de predicados, cuando observa, por ejemplo, el enunciado "Juan consulta cuidadosamente el libro" distingue: 1) los sujetos y complementos ("Juan" y "libro" en el ejemplo anterior) o *argumentos*; y 2) los verbos ("consulta cuidadosamente" en el ejemplo) o *predicados* (la clasificación lógica

es más esquemática que la gramatical y persigue otros fines).

Por otra parte hay enunciados que, al contrario del anterior, no se refieren a un argumento individual sino que son proposiciones universales del tenor de "Todos los hombres son mortales"; "Algunos números naturales son pares", que han sido históricamente objeto de la lógica. Para su manejo simbólico se utilizan los llamados *cuantificadores universal y existencial*.

El procedimiento de representación es el siguiente: los argumentos variables se designan con las letras x, y, z , etc. y los constantes con las a, b , etc.; los predicados con: F, G, H , etc.; el *cuantificador universal* "todos" se escribe con un par de paréntesis, de modo que " (x) " se lee "para todo x " o "para todos los x "; el *cuantificador existencial* con " (Ex) ", que se lee *existe al menos un x* o "existe algún x ". Entonces puede ponerse, por ejemplo:

$$(x)Fx \rightarrow Gx$$

que se lee: "para todo x , si es F de x , entonces es G de x " (Fx puede leerse también x es F). Un caso particular de la anterior fórmula sería el de que F y G significasen, respectivamente, los predicados "ser español" y "ser europeo"; entonces la fórmula se leería: "Para todo x , si x es español, entonces x es europeo", que podría darse en forma más concisa y, a la vez, acorde con los usos tradicionales, como "Todos los españoles son europeos".

Es fácil ver que el *cuantificador existencial* es expresable por medio del universal, ya que "existe al menos un x para el que x es F " es la negación de "para todos los x , x no es F "; es decir: $(Ex) Fx$ equivale a $\sim(x)\sim Fx$. Por otra parte, si la variable x toma los valores a, b, c, \dots podría interpretarse *prácticamente*, de un modo intuitivo, que:

$$(x)Fx \text{ equivale a } Fa \wedge Fb \wedge Fc \dots$$

$$(Ex)Fx \text{ equivale a } Fa \vee Fb \vee Fc \dots$$

aunque sea conveniente, para evitar las dificultades lógicas graves que supone una definición rigurosa de la conjunción y de la disyunción de muchas (posiblemente infinitas) proposiciones, introducir directamente los cuantificadores.

También conviene tomar nota de otras dos advertencias. Una se refiere a los símbolos habituales para los cuantificadores; los antes dados son usuales en muchas obras de Lógica y derivan de los *Principia Mathematica*, con la variante de que en dicho libro la E del *cuantificador existencial* se escribe invertida " \exists ". No es, sin embargo, la única notación; por ejemplo, Lukasiewicz escribe " Π " y " Σ ", respectivamente, para el *universal* y el *existencial*; en muchos textos (por ejemplo en los de Matemáticas) es usual utilizar para ellas los signos " \forall " y " \exists ", respectivamente, sin paréntesis, etc. Precisamente, la segunda advertencia se refiere al uso de los matemáticos de escribir los símbolos anteriores con bastante alegría; el mismo raramente



Kurt Gödel (1906-1978) nació en Brno (Checoslovaquia), se trasladó a Viena en 1924 y en 1935 a EE UU (donde trabajó en el Instituto de Estudio Avanzado de Princeton). Sus obras publicadas se reducen a una serie de artículos, que no ocupan más de un volumen. Sin embargo, tienen una trascendencia para la Lógica y la Matemática (y de paso para la comprensión de la potencia y limitaciones del pensamiento) absolutamente fundamental. El *Teorema de Gödel*, contenido en un artículo de unas pocas páginas escrito en 1931 (con veinticuatro años), marca un hito fundamental en la historia del pensamiento. La tesis es, de modo muy elemental, que "cualquier sistema formal suficientemente amplio como para contener la aritmética si es completo no es consistente y si es consistente no es completo". Gödel lo probó poniendo en marcha una colosal hazaña intelectual, la de aritmetizar la sintaxis (es decir, "traduciendo" los enunciados sintácticos en relaciones aritméticas).

Justo Barboza

se adapta a las reglas del cálculo cuantificacional (que supondría tomar bastantes precauciones) sino, más bien, se reduce a su utilización como simples y comodísimas abreviaturas, cuando no a una concesión a la moda.

Como es natural, los predicados podrían afectar a una o varias variables, tratándose entonces de los casos denominados *monádico* o *poliádico*. Por otra parte, podrían estar cuantificadas no sólo las letras representativas de argumentos, sino las de los predicados; en el primer caso —que es el que nos ocupa— se trataría del Cálculo o Lógica cuantificacional elemental. Otra distinción es que puede haber variables afectadas por la cuantificación o no, las primeras son *ligadas* y las segundas *libres*.

Aunque sería posible dar más detalles y ejemplos, alargando en demasía esta exposición, parece más razonable, por el contrario, concluir con una concisa versión axiomatizada del Cálculo cuantificacional elemental, que prolonga el cálculo proposicional, expuesto con anterioridad y considerado parte del mismo.

1. *Signos primitivos*. Son las letras proposicionales, las de predicados, las de argumentos, las conectivas " \sim " y " \vee " y los paréntesis, con lo que se incluye la posibilidad de escribir el cuantificador existencial como " (x) ".

Signos definidos. Las demás conectivas que se quiera usar, " \wedge ", " \rightarrow ", etc; y el cuantificador *existencial*

(Ex) Fx equivale a $\sim(x)\sim Fx$.

2. *Reglas de formación*. Están bien formadas las fórmulas del cálculo proposicional, las formadas por una letra de predicado seguida de variables de argumentos, el resultado de insertar una variable de argumento entre paréntesis para cuantificarla y los de escribir fórmulas bien formadas detras de la conectiva de negación o a ambos lados de la de disyunción.

3. *Axiomas*. A los axiomas AL1 a AL4 del cálculo de proposiciones pueden añadirse

AL5 $(x)Fx \rightarrow Fy$
AL6 $(x)(p \rightarrow Fx) \rightarrow (p \rightarrow (x)Fx)$

4. *Reglas de inferencia*. Las reglas de inferencia son las llamadas: de *separación*, de *universalización*, de *reescritura* (de variables ligadas) y de *sustitución* (de letras proposicionales, argumentos y predicados). Las de separación y sustitución son análogas a las del caso proposicional; la de *universalización* afirma que si a una fórmula válida se la precede del cuantificador universal sigue siéndolo; la de *reescritura* consiste en que puede reescribirse una fórmula cuantificacional cambiando la letra de una variable ligada por cualquier otra letra argumento con tal que esta no estuviera ya ligada).

Partiendo de los axiomas y siguiendo las reglas de inferencia pueden conseguirse los teoremas que, en este caso, se

llaman *esquemas válidos* (ya que no son proposiciones tautológicas).

Lógica de clases y de relaciones La Lógica matemática dedica sendos capítulos a las lógicas de clases y de relaciones. La primera pretende formalizar el tratamiento lógico de enunciados como: "El oro es un metal", "Los españoles son europeos", etc. Lo hace mediante el recurso a los conceptos de *elemento*, *clase*, *subclase*, *pertenencia*, *inclusión*, *unión*, *intersección*, etc. La lógica de clases coincide, por tanto, salvo matices terminológicos y notaciones, con el *álgebra booleana* de las clases de un conjunto. Precisamente fue Boole el que con su "Algebra de la lógica" desarrolló este capítulo de la Lógica e inició, a la vez, la Lógica matemática, el Algebra de conjuntos y la Teoría de retículos y Algebras de Boole. Ello, sin perjuicio, de que, según algunos autores, pudiera considerarse la Silogística de Aristóteles y la Escolástica como una lógica de clases.

Análogamente, la lógica de las relaciones formaliza el tratamiento de enunciados como "x es hermano de y". También, con ciertas matizaciones de notación o lenguaje, resulta coincidente con el álgebra de relaciones que se estudia en Teoría de conjuntos. Esta, a su vez, se reduce a la correspondiente álgebra *booleana* conjuntista, sin más que —para el caso de relaciones binarias— *identificar* la relación \mathcal{R} , definida entre elementos de las clases A y B, con el subconjunto de la clase producto, $A \times B$, tal que la pareja (x, y) pertenece a él si y sólo si $x \mathcal{R} y$, es decir si x se relaciona con y. De un modo sencillo puede extenderse el procedimiento a las relaciones no binarias.

De hecho, es en Matemáticas donde las lógicas, o álgebras, de clases y relaciones tienen mayor interés y gozan de más apli-

caciones. Por otra parte es en la Teoría de conjuntos en la que han surgido algunas de las más graves antinomias de la Lógica y la Matemática, cuya superación ha exigido, además, la profundización en el método axiomático y la formalización rigurosa en ambas.

Otras cuestiones En los textos de Lógica matemática se estudian numerosos temas más avanzados. Por ejemplo, las *Lógicas polivalentes*, en las que los valores de verdad no se reducen a 0 y 1. O las *Lógicas modales* que formalizan expresiones modales o modalidades ("es necesario que", "es posible que", etc.). Más interesante aún es el estudio del *Cálculo cuantificacional superior*, en el que se admite que también los predicados pueden cuantificarse.

De todos modos, el tema más profundo y apasionante por sus enormes implicaciones filosóficas y prácticas, es el de la *Metalógica* y el de su versión formalizada. La Metalógica se ocupa del estudio de la *Lógica*, su validez, métodos, etc. y se divide en tres partes: la *Sintaxis*, que estudia la estructura formal de los sistemas lógicos de signos con independencia de sus significados; la *Semántica*, que lo hace en función de éstos; y, por último, la *Pragmática*, que se ocupa de la relación de aquéllos con los sujetos que los usan. Pues bien, por obra sobre todo de Gödel (1906-78), buena parte de la sintaxis ha sido objeto de una versión formalizada, mediante la llamada *aritmización de la sintaxis*, que ha permitido obtener resultados tan fundamentales como el *Teorema de Gödel*, que establece, precisamente, la limitación de los sistemas formales.

Véase **Algebra de Boole; Conjuntos, teoría de; Estructura matemática; Matemática; Método axiomático; Relación, correspondencia y función**

		q = 1 q = 0									
p = 1											
p = 0											

$p \vee q$

$p \wedge q$

$p \equiv q$

$p \rightarrow q$

$p \downarrow q$

$p | q$

$p \neq q$

En Lógica matemática se utilizan numerosos tipos de gráficos, aparte de los conocidos de Venn. En la figura se ilustran algunos

casos de los de Gosseth, que sirven para representar "tablas de verdad" cambiando las cifras 1 y 0 por colores (en este

caso, morado y verde). En concreto se dan los ejemplos de $p \vee q$, $p \wedge q$, $p \equiv q$ y $p \rightarrow q$, y las negaciones de los tres

primeros, denotados con los signos especiales $p \downarrow q$, $p | q$ y $p \neq q$.

LORAN

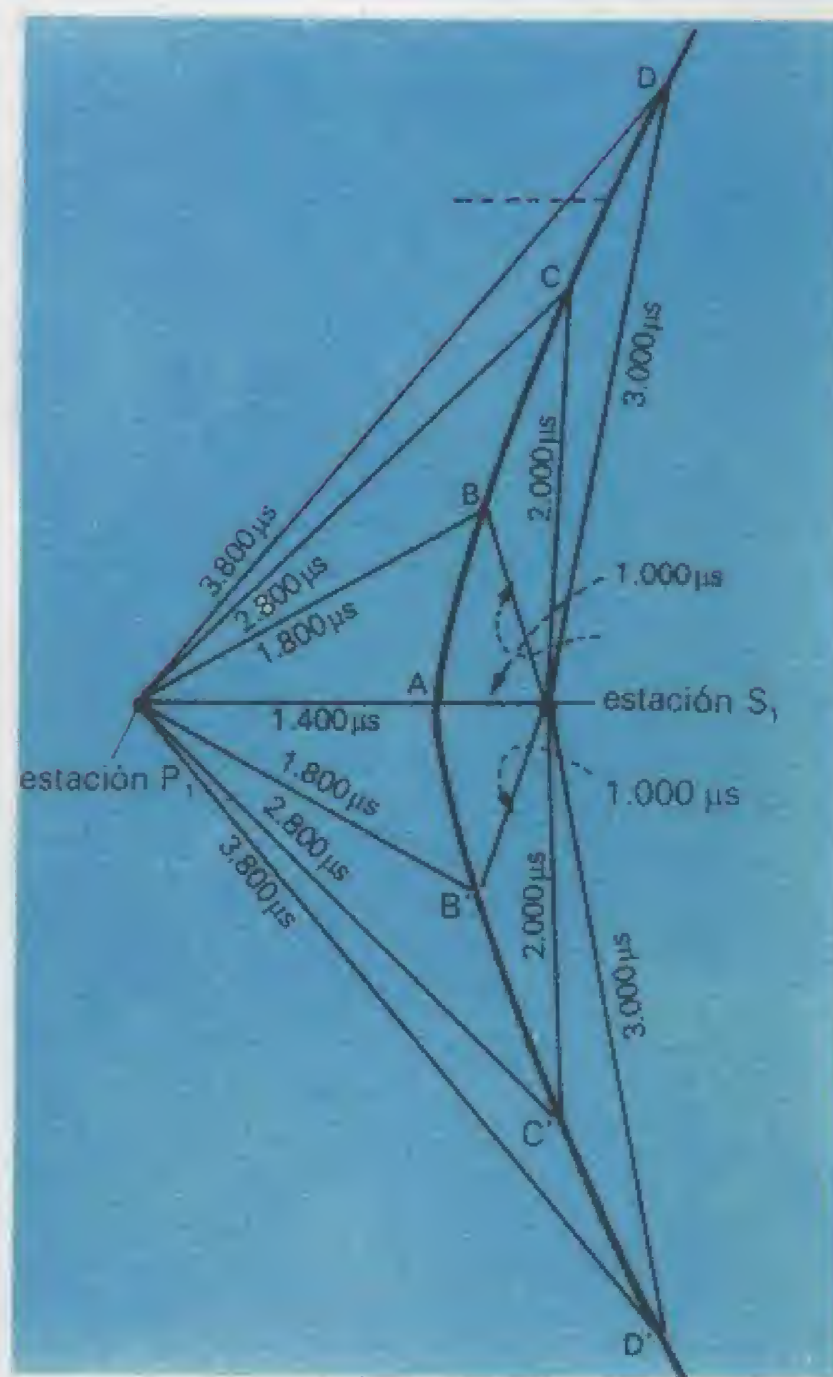
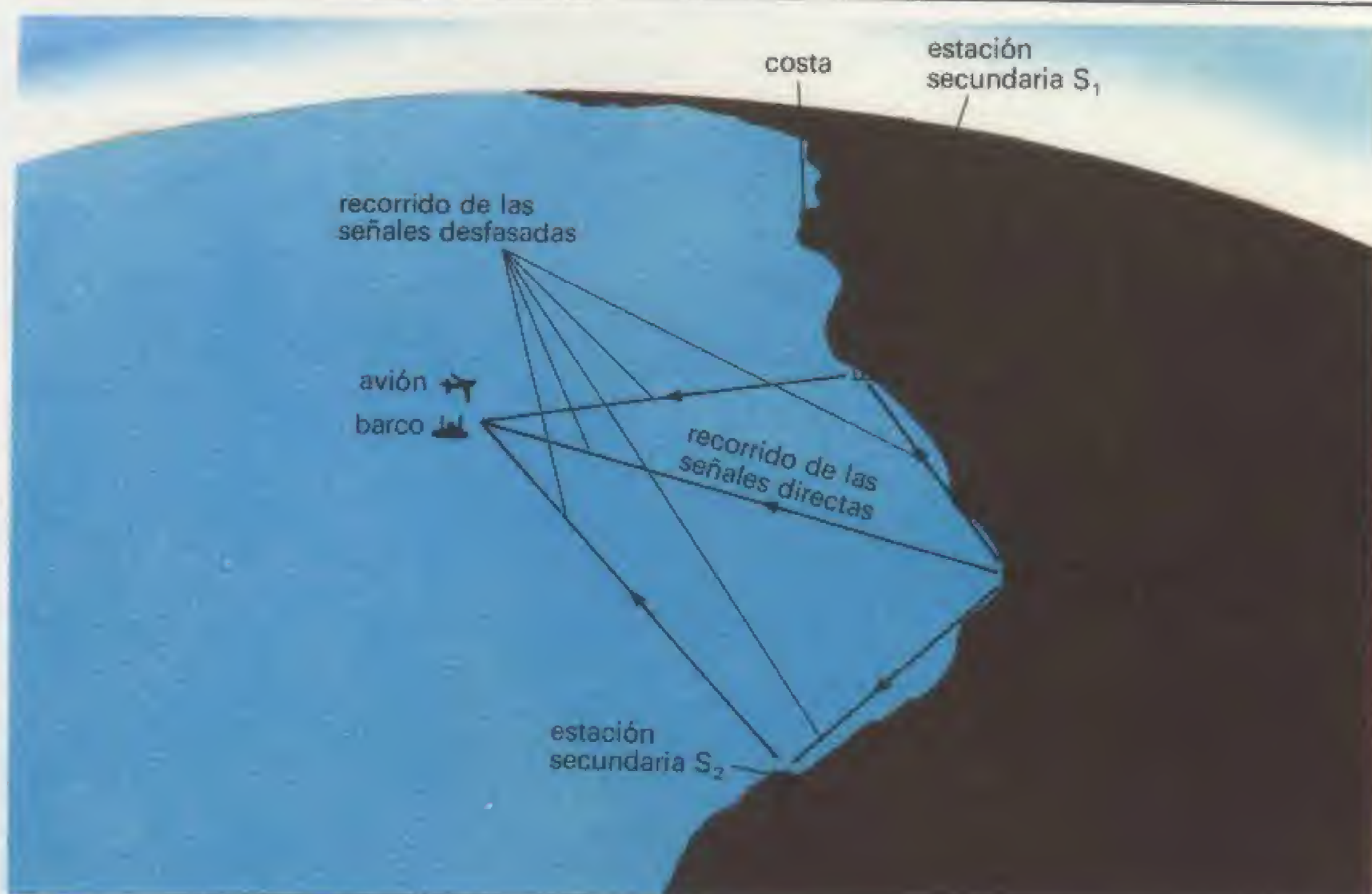
Si desde dos puntos suficientemente alejados uno de otro se disparan simultáneamente dos pistolas con sonidos distintos y distinguibles, una persona situada entre aquéllos recibirá e identificará primero una y poco después la otra. La duración del intervalo de tiempo que separa ambos sonidos, así como la periodicidad con que son escuchados, depende, obviamente, de la posición del receptor respecto a los dos puntos de disparo. Conocer la posición de los mismos puede suponer una información de gran utilidad en el caso de que nuestro hipotético escucha desee establecer su posición en un mapa. Este es el principio en que se basa el LORAN. El término LORAN corresponde a las iniciales de *Long Range Aid to Navigation* (ayuda a la navegación a gran distancia) y se basa en la localización mediante señales de radio emitidas por emisoras sincronizadas y situadas a gran distancia entre sí.

Cada unidad emisora del LORAN está integrada por un conjunto de estaciones principales y secundarias (*master/slave*) interconectadas y situadas a cientos de kilómetros de distancia unas de otras. Las estaciones principales emiten regularmente, y a intervalos periódicos, series de impulsos, mientras que las secundarias se encargan de retransmitirlas con un determinado desfase. Una estación principal y sus secundarias (normalmente tres o cuatro) constituyen una *cadena*.

Volviendo al ejemplo de las pistolas, si señalásemos en un mapa todos los puntos en los que el disparo de la primera pistola es escuchado un segundo antes que el de la segunda, observaríamos que la línea que los une describe una hipérbola.

Si nuestro escucha dispusiese de un cronómetro y de un mapa en el que se representasen las hipérbolas correspondientes a distintos y determinados desfases en la audición de las dos señales, entonces, con sólo medir en su cronómetro la diferencia con que a él le llegan, sería capaz de localizar su posición sobre una de las hipérbolas o entre ellas. Esas hipérbolas se hallan impresas en los mapas LORAN.

El receptor LORAN, una especie de cronómetro electrónico, mide el intervalo entre la recepción de las señales procedentes de dos estaciones, permitiendo al navegante la determinación de la situación del barco o del avión a lo largo de una hipérbola o línea de posición (LOP, *line of position*). Al basarse el LORAN en señales de radio que viajan aproximadamente a la velocidad de la luz, el retraso entre éstas se mide en microsegundos, es decir, en millonésimas de segundo. Sin embargo, localizar un barco o un avión en algún punto de una determinada hipérbola LOP es sólo el primer paso. Para identificar con exactitud la posición de dicho barco o avión se necesita otra pareja de estaciones y otro grupo (o haz) de hipérbolas. Cuando el navegante determina su posición sobre la segunda LOP, la superpone a la primera. El barco o avión se en-



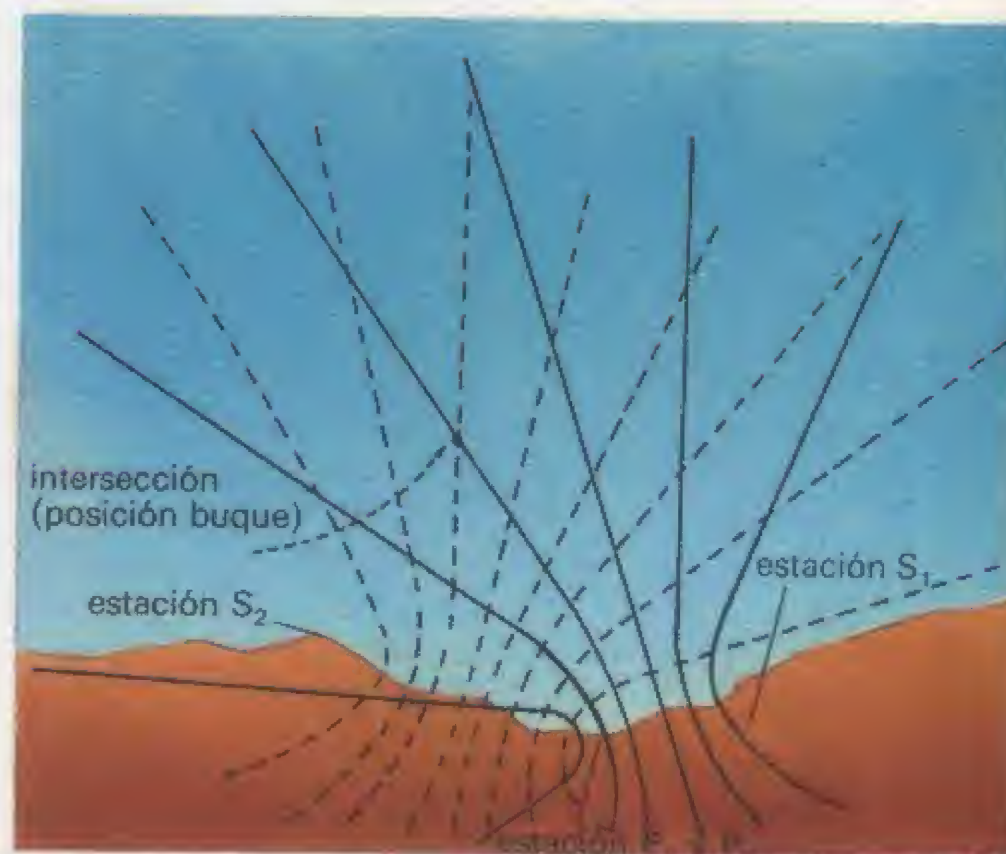
En el esquema superior se muestra el sistema de radionavegación LORAN, basado en el principio de la navegación hiperbólica. El sistema completo se basa en cuatro estaciones radiotransmisoras que emiten impulsos en todas las direcciones. Dos estaciones son principales y emiten series de impulsos de distinta frecuencia; las otras dos son secundarias y cada una retransmite, con un retraso prefijado y de forma sincrónica, los impulsos

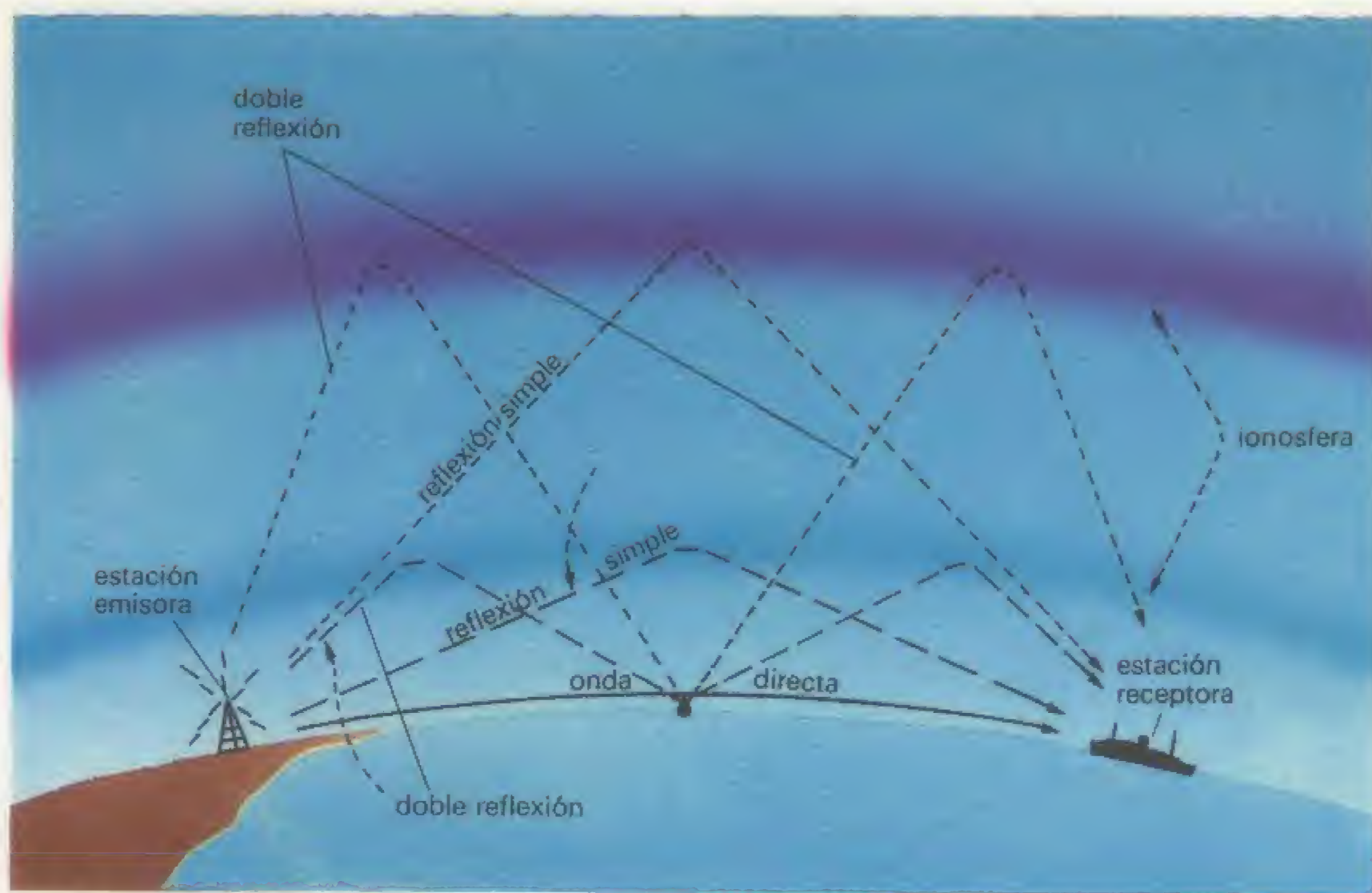
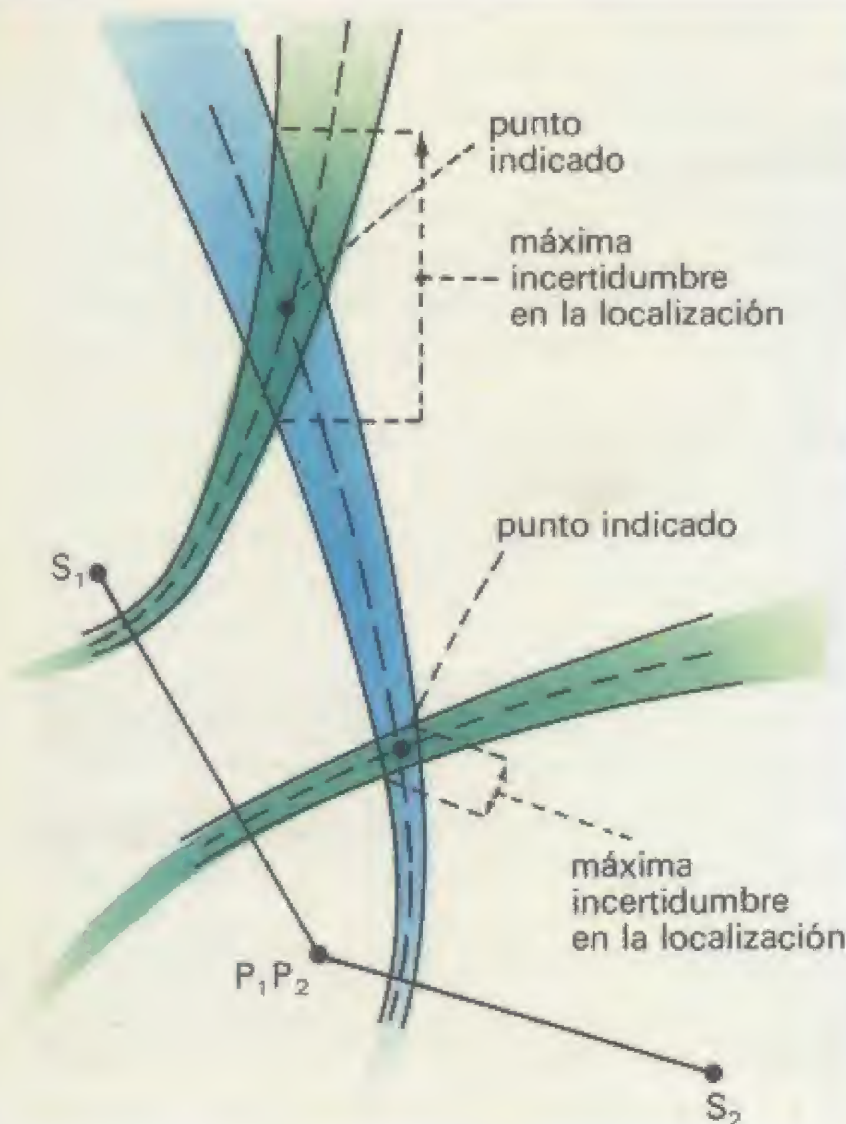
procedentes de la correspondiente estación principal. El vehículo en busca de su posición recibe series de impulsos de las dos parejas de estaciones y cronometra la diferencia de tiempo en la recepción de ambas. De esta manera es capaz de determinar su posición respecto a las estaciones emisoras. Arriba, sobre estas líneas, la hipérbola representa el lugar geométrico de todos los puntos que reciben las dos señales con el mismo retraso.

contrará exactamente en el punto de intersección de ambas. La precisión es variable, pero las localizaciones tienen un margen de error de aproximadamente media milla náutica en el caso de que la cadena LORAN utilizada esté a una distancia de mil kilómetros del punto localizado.

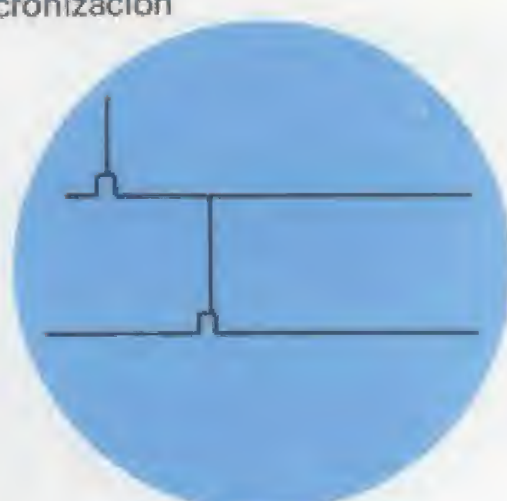
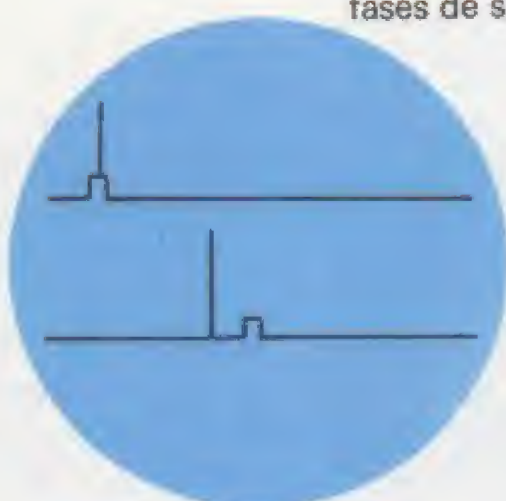
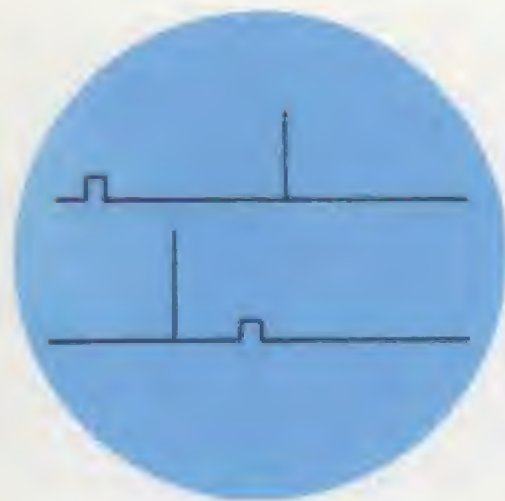
El sistema LORAN fue desarrollado por la Marina norteamericana durante la II Guerra Mundial ante la necesidad de un sistema de navegación muy preciso que pudiese operar a grandes distancias, de día o de noche y con buen o mal tiempo. Aunque en principio iba destinado a los grandes buques militares, los receptores LORAN se han convertido en instrumentos suficientemente económicos como para poder ser utilizados en pequeñas embarcaciones de pesca y de recreo, así como en aviones privados.

Uno de los defectos principales del LORAN consistía en que se necesitaban bastantes minutos para establecer la posición utilizando los mapas. Sin embargo, la reciente tecnificación del sistema LORAN mediante ordenadores electrónicos, que traducen las lecturas de desfases en coordenadas latitud-longitud, representa una notable mejora del sistema, ya que la de-





fases de sincronización



señal de la estación principal

señal de la estación secundaria

fases de dilatación y medida



En la página anterior, abajo, se muestra cómo utilizando dos parejas de estaciones, cada una de las cuales genera su propio haz

de hipérbolas, resulta posible determinar la posición exacta del vehículo, hallando la intersección de dos de ellas.

En el esquema de la parte superior izquierda de esta página se muestran los márgenes de incertidumbre en la

localización de un punto mediante las hipérbolas LORAN. Téngase en cuenta que la precisión será tanto mayor

cuanto mayor sea a su vez la perpendicularidad en las intersecciones de las hipérbolas. En la parte derecha se esquematiza el principio de propagación nocturna de las señales LORAN, basado en la reflexión de ondas. En los esquemas centrales se muestra la visualización de las señales LORAN en la pantalla de un osciloscopio. El eje superior indica el impulso de la estación principal, y el inferior, el de la estación secundaria. En los primeros tres esquemas el instrumento está sincronizado; en los esquemas siguientes, los impulsos, dilatados en el eje temporal, son superpuestos de forma que permiten medir el desfase entre ellos. Abajo, la situación del receptor LORAN en un avión.

terminación casi instantánea de las coordenadas permite actualizar continuamente la posición. Esto es particularmente interesante para la navegación aérea, ya que incluso un mínimo retraso en la determinación hace que la posición estimada quede rebasada en el momento de la lectura.

El LORAN pertenece a una familia de sistemas de navegación hiperbólicos entre los que se incluyen los sistemas Decca y Omega. Decca es un sistema similar, pero que emplea la transmisión continua en lugar de los impulsos. Es utilizado para localizaciones muy precisas y cerca del punto de destino. También el sistema Omega utiliza la transmisión continua, pero se emplea para mayores distancias

que el LORAN. Recientemente, la Marina estadounidense ha desarrollado sistemas de radionavegación vía satélite.

El LORAN ha constituido un importante sistema de ayuda a la navegación a gran distancia, aunque está empezando a ser sustituido por sistemas más modernos, como, por ejemplo, el Tacan.

Véase **Navegación; Radiofaro**



Lubricantes

Cuando una rueda chirría y se quiere eliminar ese molesto ruido se debe engrasar. Evidentemente, una rueda chirría por un fenómeno de rozamiento que se produce siempre que dos piezas entran en contacto rozando la una con la otra. La sustancia capaz de reducir la resistencia entre las dos piezas se llama lubricante. La principal acción de un lubricante es mantener separadas las superficies móviles, de forma que no exista contacto real entre ellas, para que puedan moverse con el mínimo rozamiento y desgaste.

Los lubricantes pueden ser sólidos, líquidos o pastosos, y todos deben satisfacer dos requisitos principales: reducir los fenómenos de rozamiento y enfriar las piezas en movimiento sobrecalentadas.

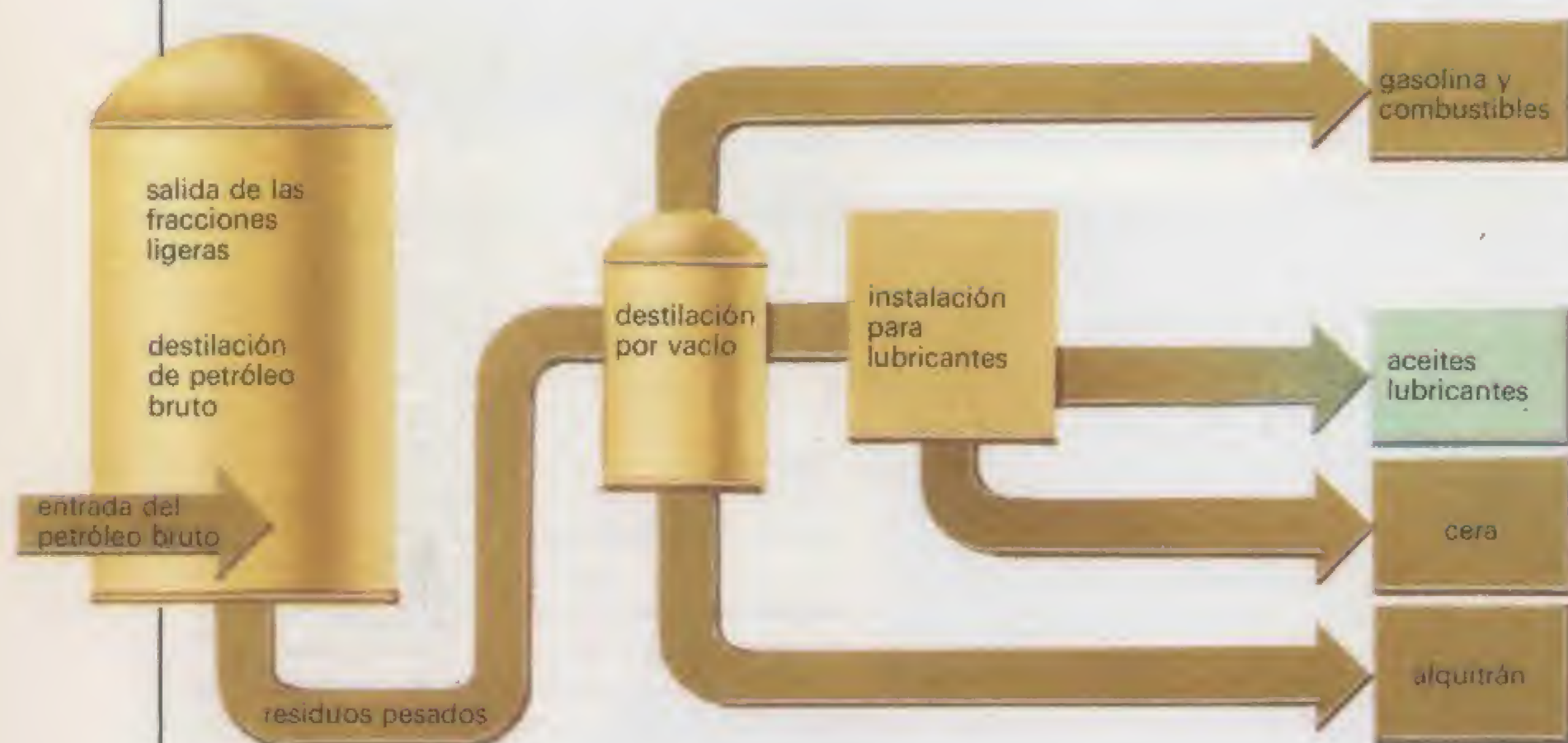
Los aceites lubricantes derivados del petróleo Los lubricantes tradicionales más importantes para usos industriales son los derivados del petróleo bruto, que permiten obtener lubricantes de distintas viscosidades aptos para ser empleados a distintas temperaturas. En particular, los hidrocarburos contenidos en el petróleo bruto permiten obtener lubricantes muy inertes —que protegen las superficies lubricadas contra la corrosión— con buenas características de refrigeración y económicos. Los lubricantes de alto contenido en hidrocarburos pueden ser destilados del petróleo siguiendo procedimientos muy distintos: mediante calentamiento directo, con vapor, al vacío, por filtrado o tratamientos con disolventes o hidrógeno.

Aditivos Los lubricantes derivados del petróleo pueden ser mezclados con aditivos para mejorar determinadas características.

La disminución de la viscosidad producida por el aumento de la temperatura puede evitarse añadiendo espesantes, como por ejemplo polímeros cuyas cadenas moleculares se desarrollan a altas temperaturas y hacen que el aceite lubricante sea más denso. Pueden ser añadidos otros combustibles químicos para bajar el punto de fluidez (la temperatura límite por debajo de la cual el líquido no fluye más) o bien para prevenir la formación de ácidos que podrían corroer las superficies lubricadas.

Agregando sustancias antioxidantes se retrasa el deterioro de los lubricantes, causado por la formación de depósitos, después de su exposición al aire. Ciertos aditivos se combinan químicamente con las superficies lubricadas a altas temperaturas y presiones, formando con los materiales que componen la superficie una película a base de sulfuros y cloruros. Estos aditivos son muy útiles para las superficies que tienden a griparse con el empleo de lubricantes corrientes, debido a las notables cargas a las que están sometidas las superficies y a su propia conformación.

Los agentes dispersores se utilizan para evitar que los productos que se forman durante el funcionamiento de las máquinas, como por ejemplo los residuos de una combustión parcial en los motores de los automóviles, puedan difundirse a través de las distintas partes de la máquina y contaminar las superficies en contacto, au-



Lubricantes líquidos Los lubricantes líquidos son los más corrientes. Una de las características más importantes de los lubricantes líquidos, y en particular de los aceites lubricantes derivados del petróleo, es la *viscosidad* o resistencia al deslizamiento. La viscosidad determina la facilidad con la cual pueden deslizarse entre sí las superficies en contacto y la posibilidad del lubricante de formar una película suficientemente gruesa como para mantener las superficies separadas. Por ejemplo, los husos de las máquinas textiles que operan a alta velocidad necesitan un lubricante poco denso para obtener un mínimo rozamiento y un buen enfriamiento, mientras que los engranajes descubiertos y los cables necesitan lubricantes más densos que permanezcan pegados durante más tiempo a las superficies de rozamiento y que resistan las elevadas presiones que se crean entre dichas superficies, evitando así su excesivo desgaste.

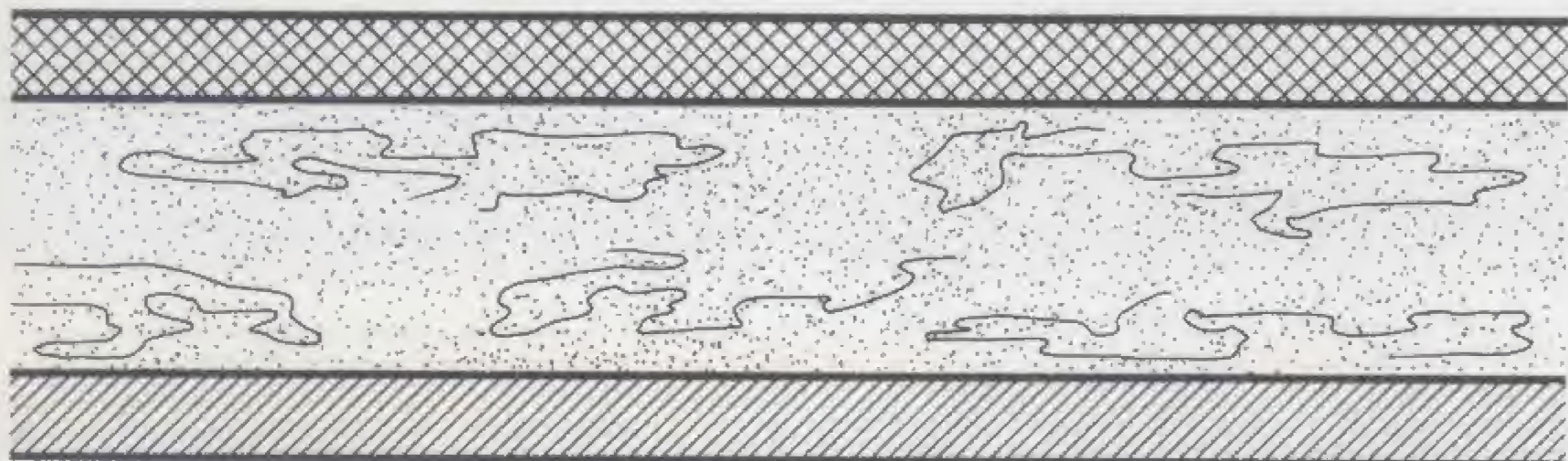
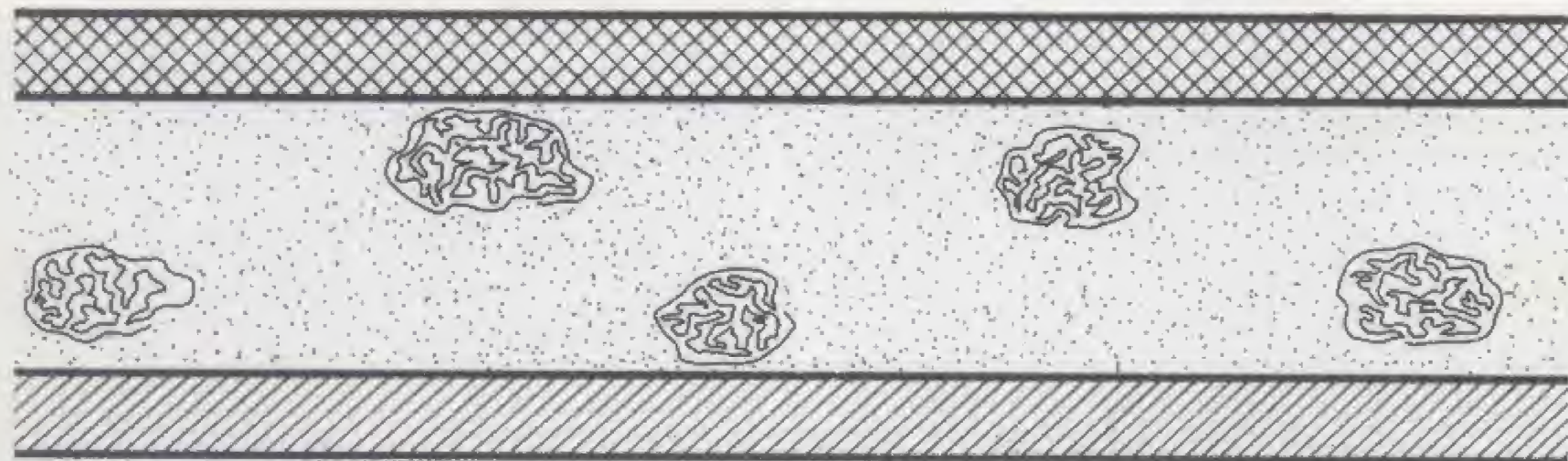
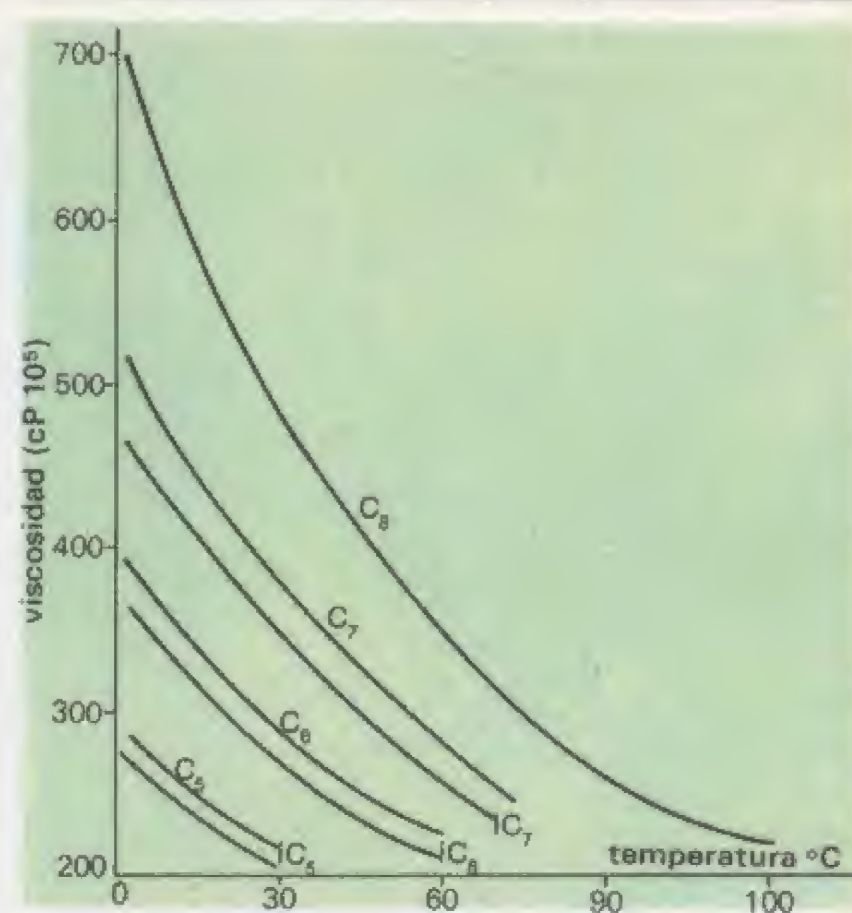
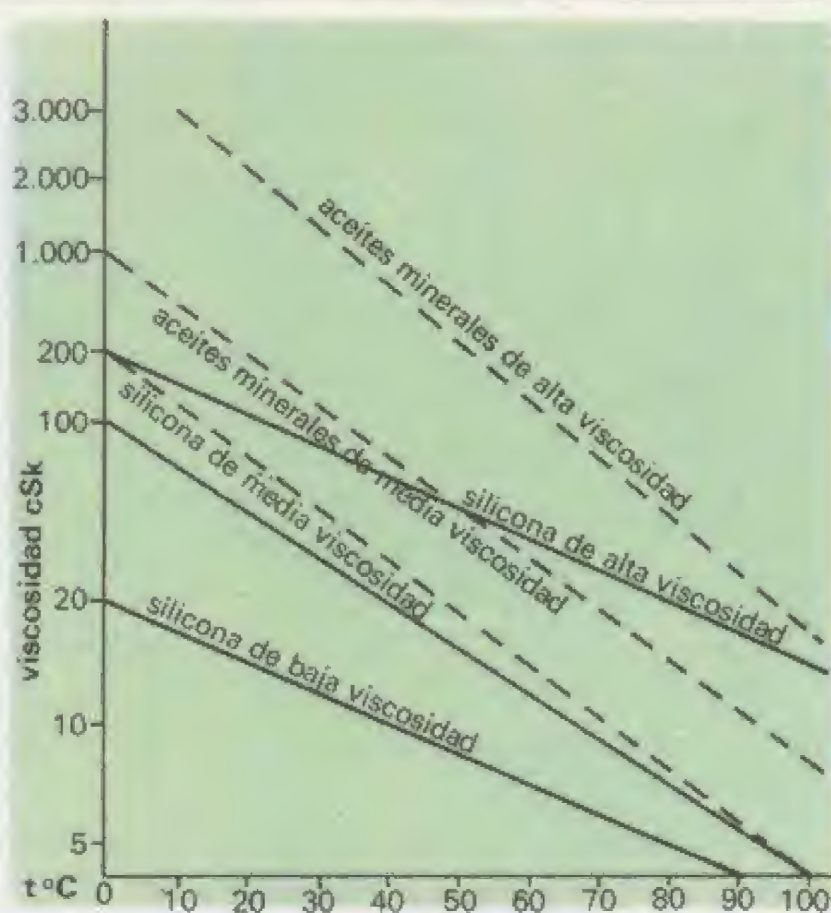
La viscosidad de los líquidos varía según la temperatura: cuanto mayor es la temperatura menor densidad tiene el líquido. La variación de la viscosidad en relación con la temperatura en un determinado lubricante se denomina *índice de viscosidad*. Cuanto mayor sea la variación de la viscosidad, mayor será el valor de dicho índice.

Los distintos tipos de lubricantes se pueden obtener de las fracciones más pesadas del petróleo, es decir, de las que destilan a temperaturas más elevadas. Los aceites minerales pesados destinados a lubricantes, después de su destilación, son objeto de algunos tratamientos especiales, tales como la desasfaltización, el refinado y la corrección mediante aditivos para mejorar sus características. Una de las características fundamentales de un lubricante consiste en su viscosidad, que constituye uno de los parámetros para la clasificación de los lubricantes; en la tabla de al lado se indican los empleos y las funciones de los lubricantes para las distintas aplicaciones y los intervalos de viscosidad para los diferentes usos, expresados según una tabla convencional.

VISCOSIDAD DE LUBRICANTES PARA DIFERENTES APLICACIONES		
Aplicación	Viscosidad en centistokes 0,25 °C	Función fundamental
aceites para motores SAE 10 W SAE 20 SAE 30 SAE 40 SAE 50	60-90 90-180 180-280 280-450 450-800	lubrican los segmentos del émbolo, los cilindros, la distribución, los rodamientos; enfrían el émbolo, impiden la formación de depósitos sobre las superficies metálicas
aceites para engranajes SAE 80 SAE 90 SAE 140	100-400 400-1.000 1.000-2.200	impiden el contacto directo de los metales y el desgaste de los engranajes helicoidales y de los tornillos sin fin, enfrían la caja de los engranajes
aceites para motores de aviación	220-700	las mismas de los aceites para motores
fluidos para convertidores de par	80-140	lubrican y transmiten el movimiento
fluidos para frenos hidráulicos	35	transmiten la presión
aceites para frigoríficos	30-260	lubrican la bomba del compresor
aceites para turbinas de vapor	55-300	lubrican los engranajes de reducción y refrigeran
aceites para cilindros de vapor	1.500-3.300	lubrican en presencia del vapor y a temperaturas elevadas

mentando los fenómenos de rozamiento. Los lubricantes que contienen agentes dispersores se llaman *agentes detergentes* ya que contribuyen a mantener limpias las máquinas. Estos aditivos actúan neutralizando las sustancias ácidas o reteniendo las partículas extrañas que se encuentran suspendidas en el lubricante.

Otros lubricantes líquidos Los lubricantes más tradicionales, como los aceites derivados de productos animales o vegetales, se oxidan fácilmente al aire, aumentando su densidad y llegando incluso a solidificar. Por ello han sido sustituidos por lubricantes derivados del petróleo, aunque algunos tipos, por ejemplo los aceites extraídos de la grasa de cerdo y de ballena, son utilizados a veces como aditivos.



La viscosidad de un lubricante disminuye a medida que aumenta su temperatura. La variación de la viscosidad con respecto a la temperatura se expresa como el índice de viscosidad, valorado en base a una escala

convencional. Arriba, a la izquierda, un diagrama viscosidad/temperatura de algunos lubricantes. La temperatura afecta menos a la viscosidad de la silicona. En general, la viscosidad de una serie homóloga de la química orgánica

es mayor a medida que aumenta el número de los átomos de carbono. Arriba, a la derecha, vemos la variación de la viscosidad con respecto a la temperatura de los alcanos. Los isómeros ramificados correspondientes

tienen una viscosidad ligeramente inferior. La disminución de la viscosidad con el aumento de la temperatura puede ser corregida mediante el empleo de aditivos en forma de cadenas de polímeros de alto peso molecular que a baja

temperatura son enrollados en forma de ovillos (1), mientras que a elevadas temperaturas se distienden (2), haciendo el aceite lubricante más denso y compensando así la disminución de viscosidad.

Los lubricantes a los cuales se añaden estos aditivos presentan una viscosidad casi constante. Arriba vemos un torno automático, herramienta que es enfriada y lubricada por emulsión de aceite.

Los aceites lubricantes sintéticos son líquidos, químicamente neutros y con características similares a las de los productos análogos derivados del petróleo. La mayor parte de los aceites sintéticos mantiene muy constante su viscosidad, resiste a la oxidación y a la combustión, tiene un bajo punto de fluidez y, además, soporta presiones elevadas.

Lubricantes pastosos Los lubricantes pastosos, es decir las grasas, están constituidos por aceites minerales o bien por otros aceites mezclados con jabones alcalinos que, en general, son resistentes a la acción del agua. Otras grasas se obtienen de otros compuestos, que pueden ser, por ejemplo, a base de sílice. Las grasas están

particularmente indicadas para proteger las superficies durante los períodos de inactividad, para facilitar la incorporación de otros lubricantes, para la eliminación de las impurezas y las sustancias contaminantes y para lubricar las superficies en los casos en los que los requisitos de idoneidad no son tan estrictos. Este tipo de lubricantes posee, además, una larga duración de empleo y son, por lo tanto, útiles en lugares poco accesibles, donde la lubricación no puede realizarse frecuentemente.

Lubricantes sólidos La estructura molecular deslizante de minerales como el grafito o el disulfuro de molibdeno proporciona considerables características lu-

bricantes a estos compuestos. Las superficies lubricadas pueden deslizarse fácilmente unas sobre otras incluso bajo cargas muy notables y a temperaturas extremadamente altas. Otros tipos de lubricantes sólidos son blandos, como el plomo blanco, el yeso y el talco. Un caso particular de lubricante sólido está constituido por un material que se adhiere químicamente a la superficie a lubricar.

Véase Engranaje; Junta universal

Luna

La Luna "entró" prácticamente en los hogares de todo el mundo el día 20 de julio de 1969, cuando millones de personas pudieron observar a través de la televisión a los astronautas del proyecto *Apolo*, Armstrong y Aldrin, caminando, por primera vez en la historia, sobre la misteriosa superficie de nuestro satélite. La Luna, por fin, comparecía ante los ojos curiosos del hombre, revelándose en todo su esplendor: rocosa, árida y carente de vida. Todas las misiones del proyecto *Apolo* fueron equipadas con material científico de gran valor y utilidad: aproximadamente 90 kg de piedras y muestras del suelo lunar, acompañados por miles de fotografías extremadamente nítidas de la superficie fueron recogidas en el transcurso de estas misiones.

Este "botín" científico no sólo ha permitido conocer mejor la superficie lunar, sino que también ha ampliado nuestros conocimientos del Sistema Solar, ayudándonos a comprender mejor la situación de la Tierra dentro de éste.

Composición de la Luna Acerca de la formación de nuestro satélite existe un importante argumento, del cual hemos tenido un conocimiento muy limitado hasta

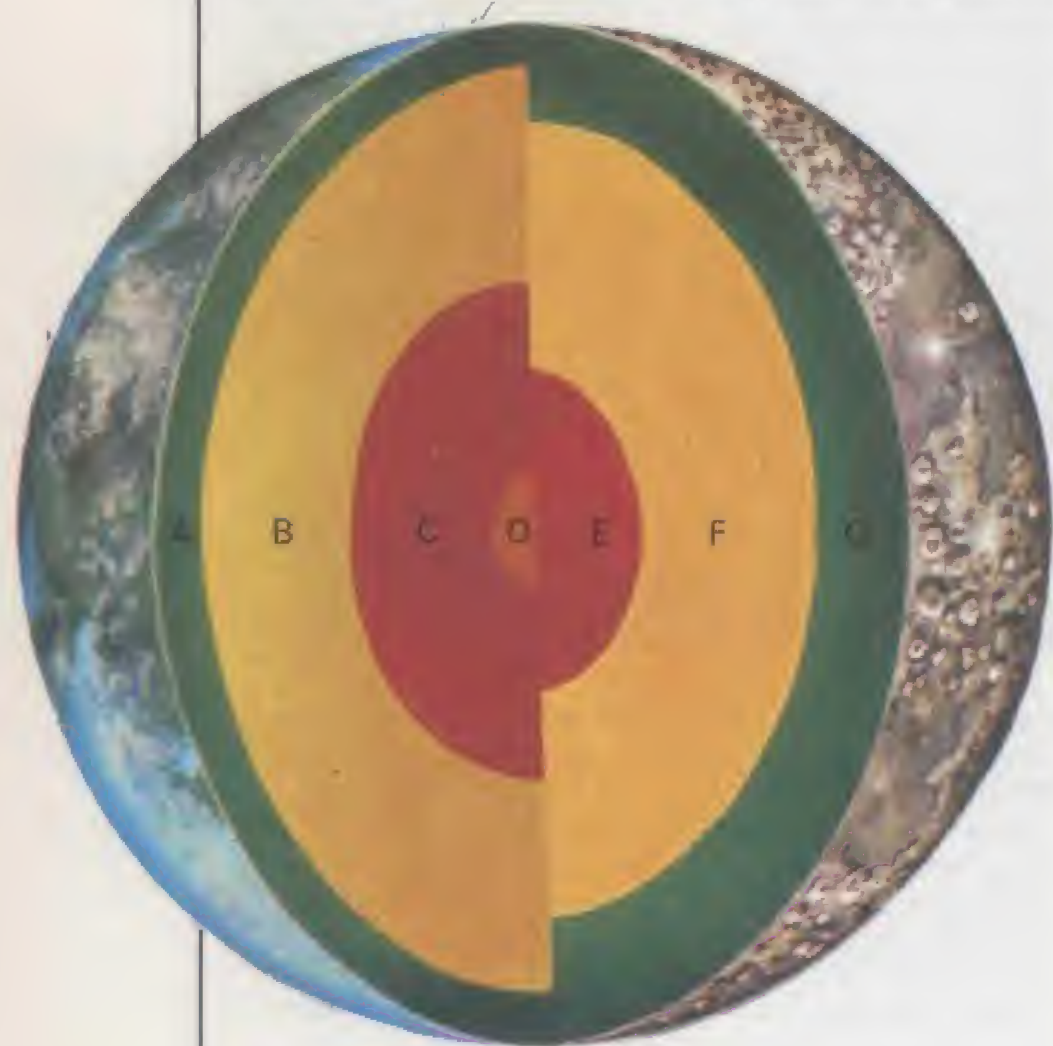
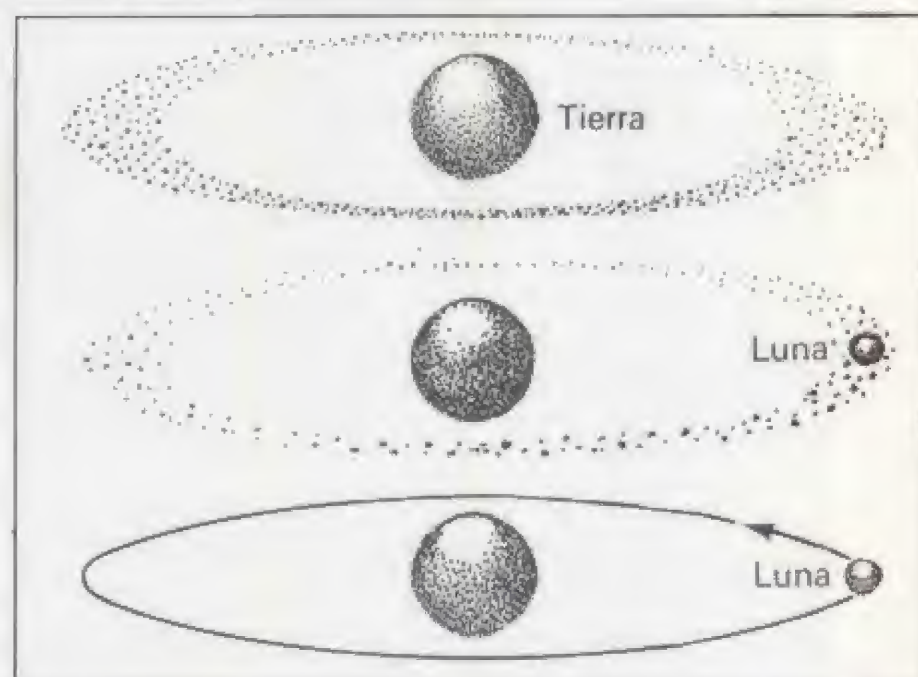
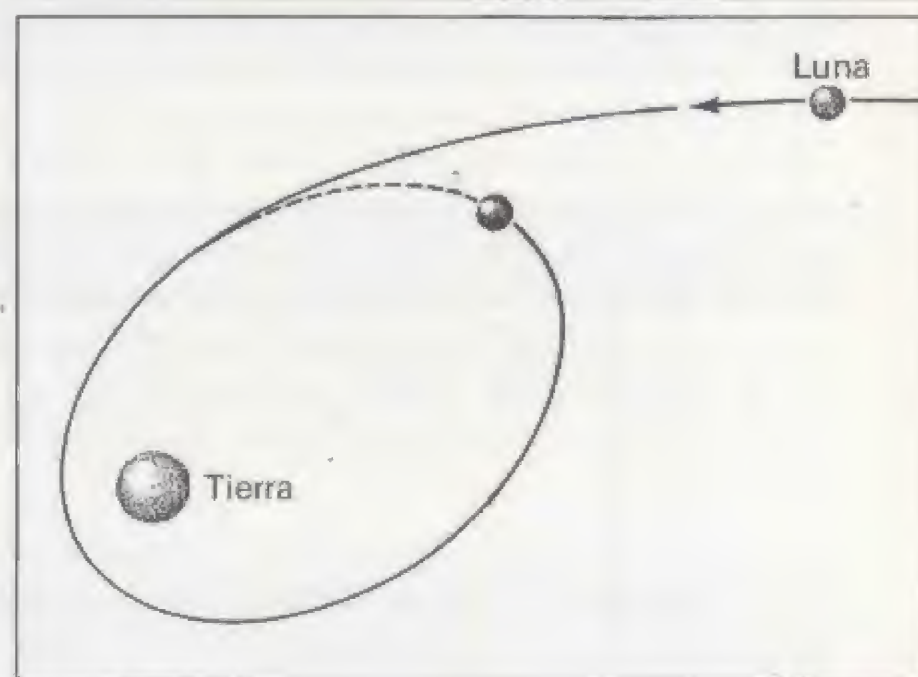
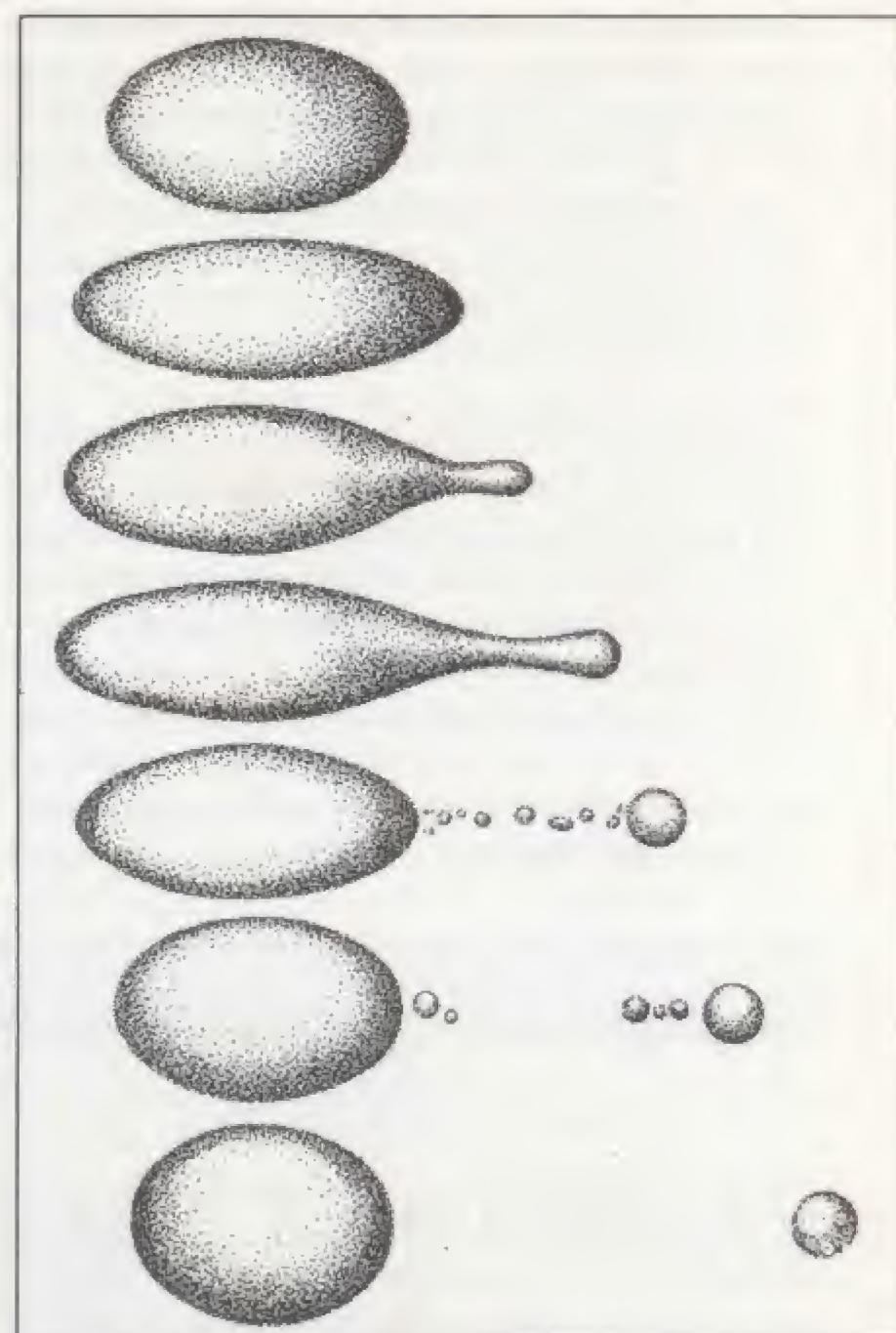
ahora. Los científicos saben que la historia de la Luna se inició en el mismo período que la de la Tierra, hace unos 4.700 millones de años. Algunos investigadores defendieron la hipótesis de que la Luna era, en realidad, un cuerpo libre del Sistema Solar, quizá un gran asteroide vagabundo que fue capturado por el campo gravitatorio terrestre.

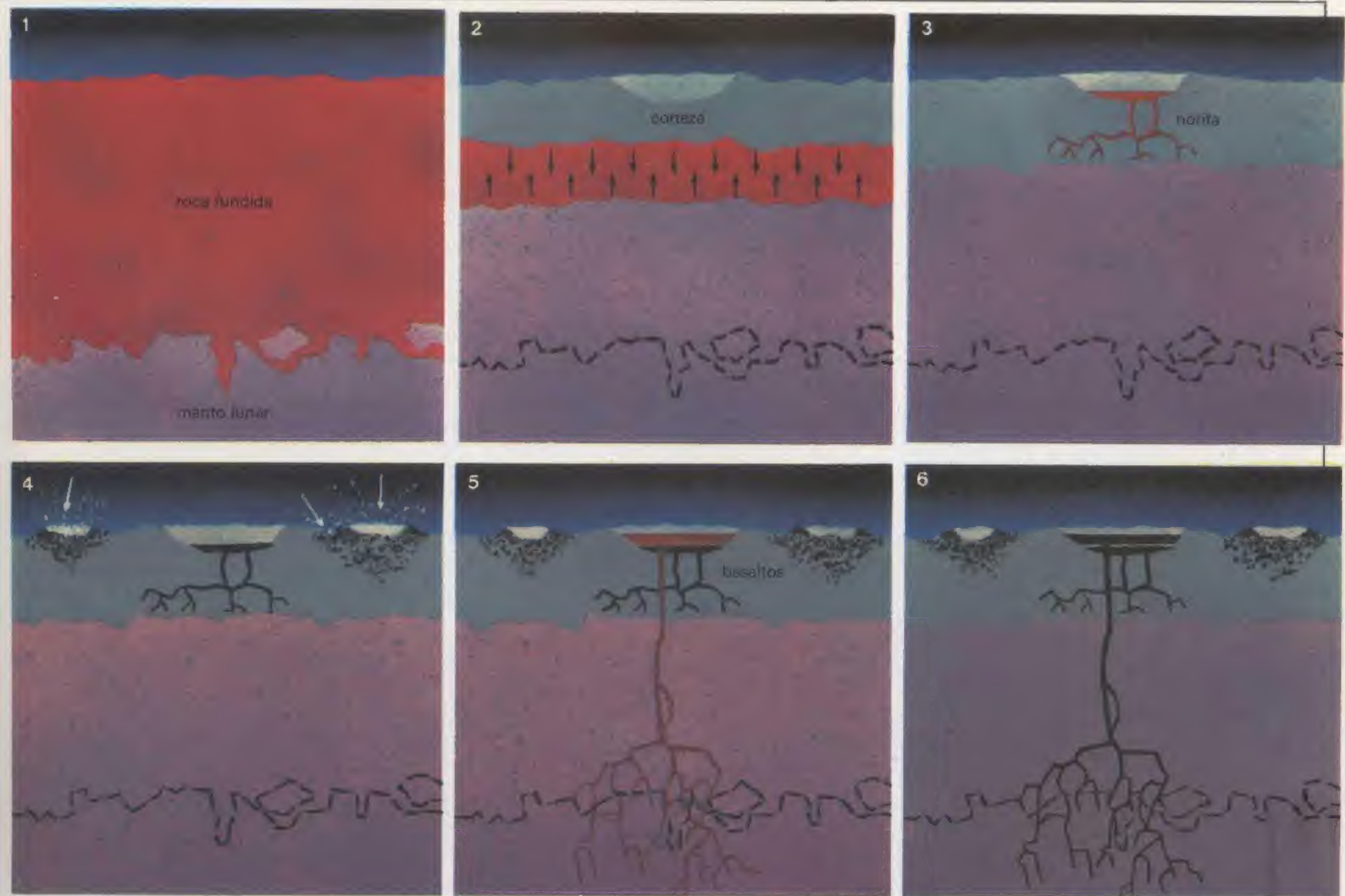
La opinión más generalizada, sin embargo, es que la Luna se formó siguiendo los mismos mecanismos que dieron forma al resto del Sistema Solar: la condensación de una enorme nube de polvo y gas, lentamente comprimida en forma de bola como consecuencia de la atracción mutua del enorme número de moléculas contenidas en su interior, que finalmente se enfrió y solidificó, formando el cuerpo que hoy podemos observar con telescopios y sondas espaciales.

El paisaje lunar presenta un aspecto prácticamente igual al que tuvo en sus primeros momentos. Al no existir ningún tipo de fenómeno climático (lluvia, nieve o viento), ni vegetación, se han conservado los caracteres originarios. Lo que queda es un vasto desorden de montañas, cráteres, valles, cimas, desiertos y barrancos. Algunas de estas montañas son enormes

En las ilustraciones se muestran algunas características fundamentales de la historia lunar. La Tierra, observada desde la Luna, presenta también fases por las cuales se puede hablar de Tierra "nueva" y de Tierra "llena". En el dibujo y bajo estas líneas, el módulo *Apolo 11*. A la izquierda, comparación del interior de la Luna, a la derecha, con el de la Tierra, a la izquierda: G, corteza con un espesor de 60 km; F, manto, notablemente rígido, que se extiende a una

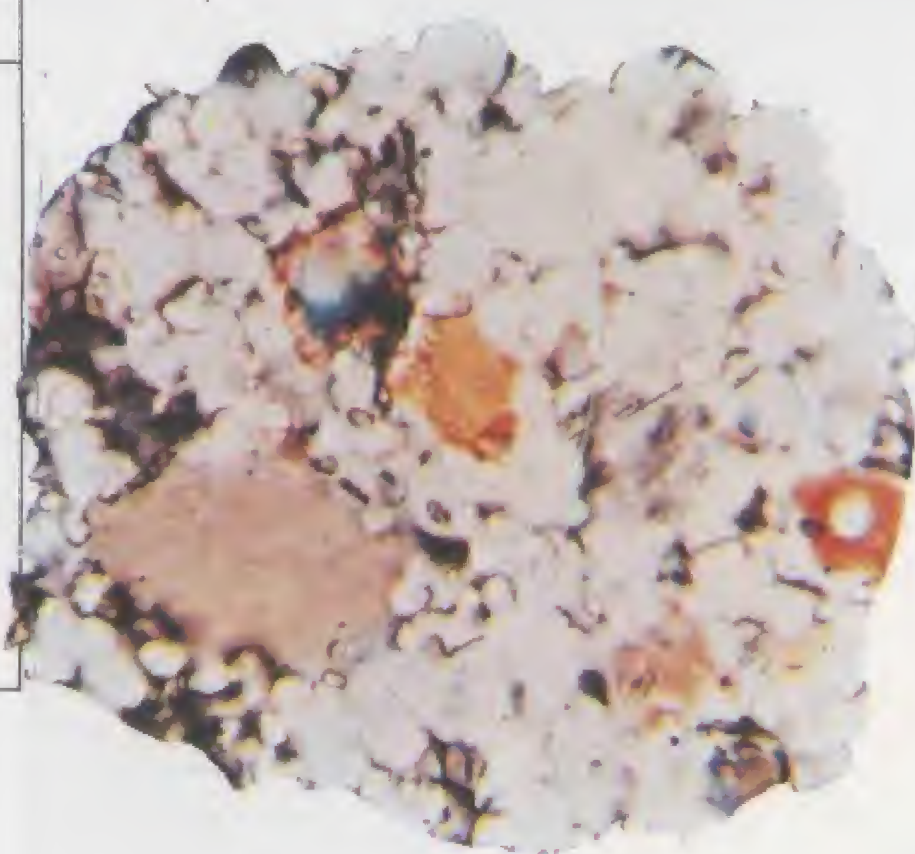
profundidad de unos 1.000 kilómetros; E, núcleo central, con rocas al menos parcialmente fundidas. A la izquierda, Tierra: A, corteza; B, manto; C, núcleo externo, todavía en estado líquido, de hierro y níquel; D, núcleo interno en estado sólido. En la página siguiente, arriba, procesos evolutivos de la superficie y del interior de la Luna. Abajo, sección de roca de tipo anortósico, con plagioclasa (claro) y olivino (coloreado). Junto a estas líneas, esquema del proceso de formación lunar.





CARACTERISTICAS DE LA LUNA

• Distancia media desde la Tierra	384.000 km
• Distancia mínima desde la Tierra	356.410 km
• Distancia máxima desde la Tierra	406.700 km
• Inclinação de la órbita	5° 9'
• Radio medio	1.738 ± km
• Densidad media	3,34 g/cm ³
• Volumen	2,2 × 10 ¹⁰ km ³
• Temperatura superficial mínima	-171 °C (ecuador) -203 °C (polos)
• Temperatura superficial máxima	117 °C
• Período de rotación axial	27,3 días
• Período de revolución sideral	27,3 días
• Período de revolución sinódico	29,5 días



y alcanzan alturas superiores a 8 km sobre el nivel del suelo. Sin embargo, el aspecto más característico de estas impresionantes formas montañosas se lo confiere la presencia de innumerables cráteres que dan a la superficie una apariencia hoyada, como picada de viruelas. Más de 100.000 cráteres de distintas dimensiones, desde un metro hasta más de 200 km, son el resultado del choque de meteoritos caídos sobre la Luna a grandes velocidades.

Galileo y otros astrónomos de la antigüedad creían que las vastas manchas oscuras de la superficie lunar eran océanos, por lo que fueron bautizados con el nombre de "mares".

Estos mares son, en realidad, lagos de lava solidificada, dura, brillante y de grandes dimensiones. Son llanuras que se formaron hace unos 3.500 millones de años, cuando torrentes de lava surgían de las grietas de los cráteres meteoríticos más grandes, solidificándose después en el fondo de éstos. Hay nueve mares mayores, uno de los cuales es el mar de la Tranquilidad, en el cual alunizó el *Apolo 11*.

Características La Luna se caracteriza fundamentalmente por ser un mundo carente de vida. La fuerza de gravedad en la Luna es considerablemente menor que en la Tierra, lo cual conlleva que la Luna



no ha podido retener ni atmósfera ni agua sobre su superficie.

Las muestras de rocas traídas a la Tierra por las sucesivas expediciones soviéticas y estadounidenses, comenzadas en el 1969, han demostrado que en la Luna no hay agua ni sustancias orgánicas.

Lo que hace que la Luna sea particularmente interesante es su semejanza a la Tierra y su cercanía a nuestro planeta. La distancia media a la Tierra no alcanza los 400.000 km, que comparada con la distancia que nos separa de Venus —el planeta más cercano al nuestro— es cien veces inferior. La Luna gira alrededor de la Tierra de oeste a este, en la misma dirección en que la Tierra gira en torno a su eje.

La Luna se mueve también en la misma dirección en que la Tierra gira alrededor del Sol, y emplea unos 27,5 días para realizar un giro completo alrededor de nuestro planeta. Por lo que se refiere a sus dimensiones, la Luna aparece como algo pequeño respecto a otros muchos cuer-

pos del Sistema Solar, y su diámetro, de 3.558 km, es ligeramente superior a un cuarto del diámetro terrestre.

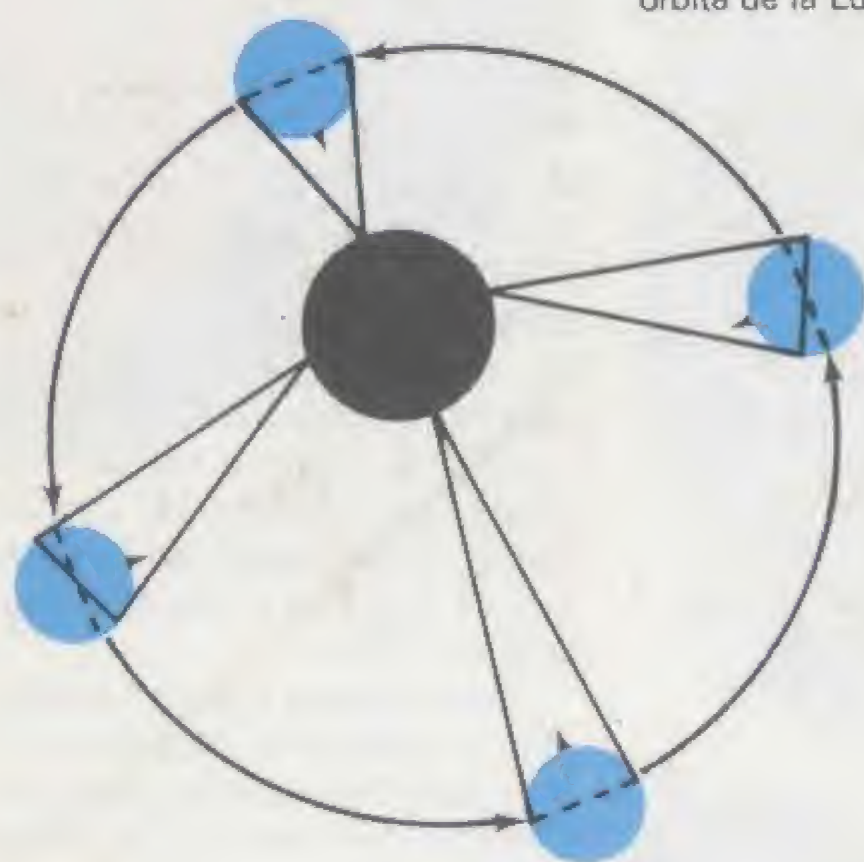
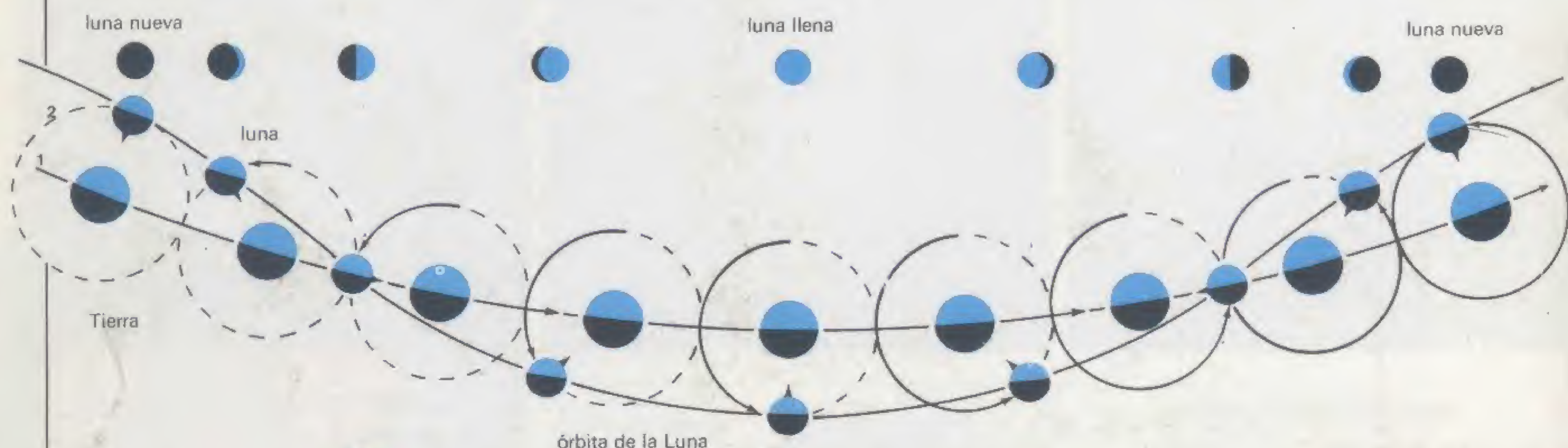
Una buena parte del misterio que envuelve a la Luna, se debe a que una de sus caras se encuentra siempre oculta a nuestra vista. Esto ocurre porque la Luna gira también sobre sí misma empleando exactamente el mismo tiempo que emplea en su giro alrededor de la Tierra. Esta combinación sincrónica de movimientos —de enorme complejidad, pues es resultado de muchos movimientos combinados— hace que la cara de la Luna vuelta hacia la Tierra sea siempre la misma. Aunque se denomine a la parte oculta de la Luna la "cara oscura", en realidad, esta recibe la misma cantidad de luz solar que la cara que vemos habitualmente.

A pesar de que casi todos los estudios sobre la Luna han sido efectuados en la cara visible, se sabe que la cara oculta está caracterizada por el hecho de ser más plana y de tener menos mares.

Bajo la influencia de la Luna La Luna ejerce una influencia relativamente grande sobre la Tierra. Su efecto principal se da sobre los océanos, cuyas mareas son producto de la atracción gravitacional que el satélite ejerce sobre la Tierra (también el Sol influye en la mareas, aunque con efectos más limitados debido a su mayor distanciamiento de la Tierra).

El agua experimenta el efecto de la Luna principalmente en el momento en que se encuentra exactamente bajo la misma, ya que la atracción gravitacional lunar la atrae haciéndola alejarse del centro de la Tierra. Para nosotros, que la observamos desde la Tierra, la Luna presenta una variedad de aspectos que van, a través de un ciclo mensual, desde una forma alargada, a la esfera completa de la Luna llena. Estas variaciones, o fases, son debidas a las distintas posiciones relativas entre Luna, Tierra y Sol.

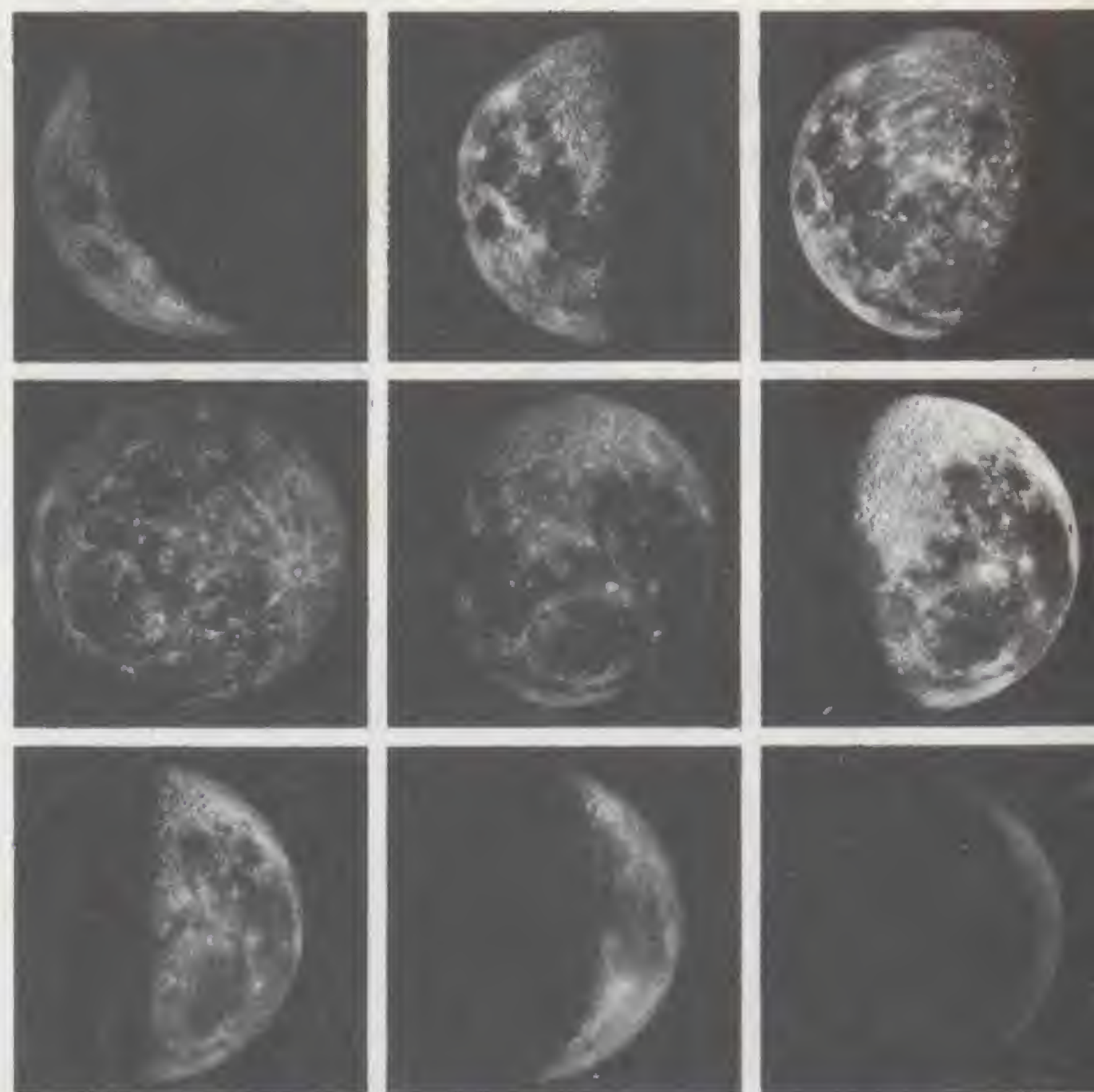
En todo momento, una mitad de la Luna está iluminada por los rayos del Sol, ex-

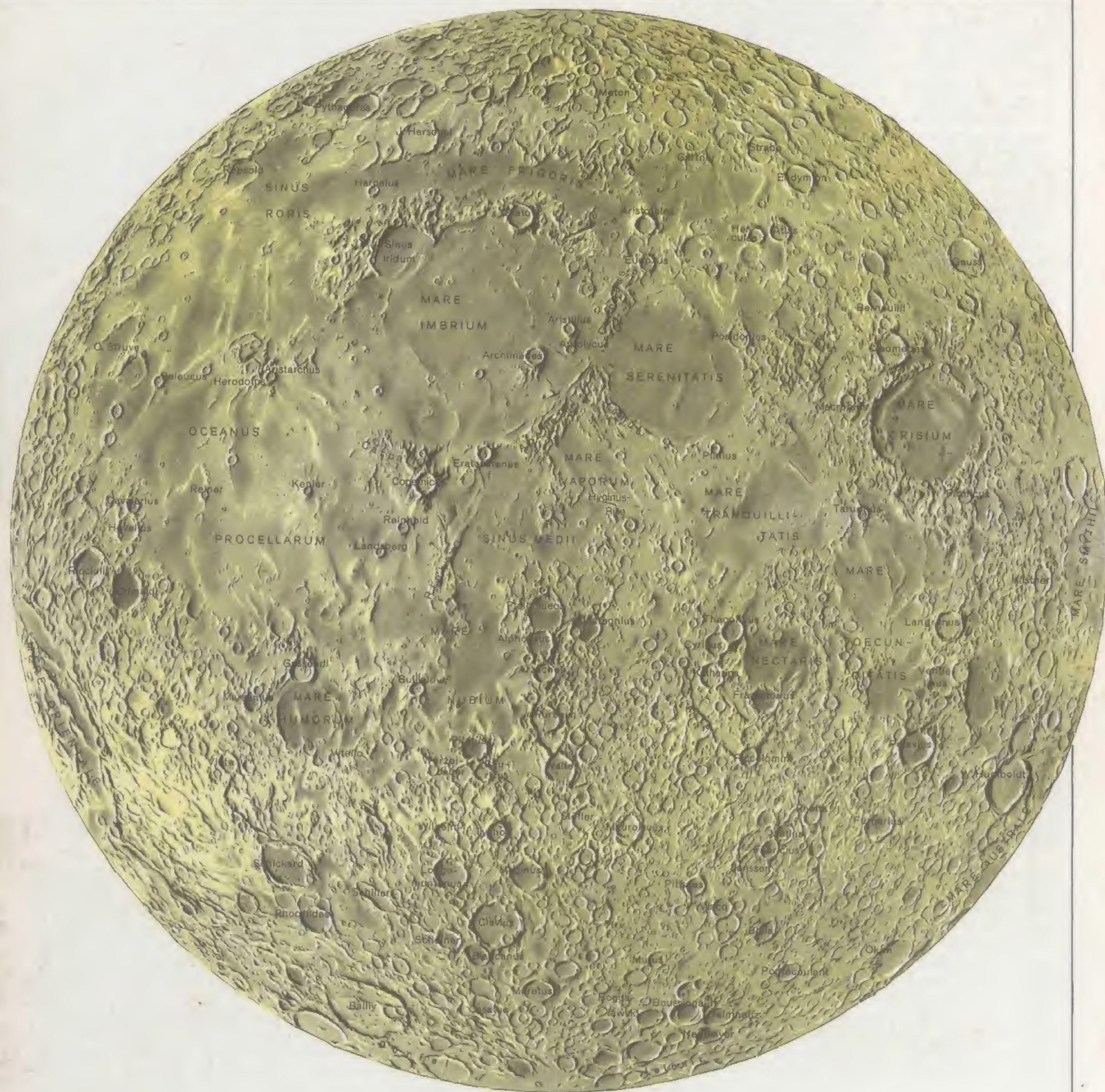


El mes lunar (arriba) se debe al hecho de que, mientras la Tierra recorre su órbita alrededor del Sol, la Luna se desplaza con ella y gira a su alrededor, empleando poco menos de un mes (28 días) para cubrir una órbita completa. En su desplazamiento

alrededor de la Tierra, la Luna va siendo iluminada de diferentes formas por el Sol: a la izquierda, luna nueva (invisible); en el centro, luna llena iluminada completamente por el Sol; a la derecha, nuevamente, luna nueva. La acción

de la Luna se hace particularmente evidente en las mareas producidas precisamente por la atracción gravitacional que tiende a hacer subir el agua en las regiones expuestas directamente a la acción lunar. En el dibujo inferior, fenómenos de





libración: la superficie puede verse desde la Tierra solamente en un 59 por ciento, ya que la órbita lunar no es circular, sino elíptica. Además de la libración debida a la elipticidad de la órbita, existen otras dos libraciones debidas a la falta de perpendicularidad del

eje de rotación al plano de la órbita y a que el observador no se halla en el centro de la Tierra. Las nueve fotografías de la página anterior muestran la Luna durante nueve fases diferentes. Inicialmente aparece como una hoz delgada,

después aumenta cada vez más hasta mostrar el hemisferio completamente iluminado para volver, después de la fase del último cuarto menguante, a la fase de luna nueva. Sobre estas líneas, los principales caracteres de la Luna. La cara de

la Luna que se ve desde la Tierra ha sido ya completamente estudiada por los científicos: se han trazado mapas muy rigurosos y se tienen fotografías de tal precisión que no tienen nada que envidiar a las que se toman en la Tierra.

cepto cuando se producen los eclipses lunares, es decir, cuando la Tierra se interpone, parcial o totalmente, entre ambos, impidiendo así que la radiación solar alcance la superficie lunar.

Véase **Asteroide; Astronomía; Astronomía para aficionados; Júpiter; Marte; Planetas; Plutón; Radioastronomía; Sistema Solar; Urano; Venus**

Luz

La luz es una forma de energía que está presente en todos los puntos del Universo: la luz de las estrellas llega hasta las zonas más alejadas del espacio. La luz es también la forma de energía más importante para la vida en la Tierra, porque es precisamente la luz del Sol la que proporciona la energía necesaria para la fotosíntesis y por tanto es la fuente de energía para todas las formas de vida.

Sin luz nuestra capacidad para ver sería completamente inútil, mientras que, gracias a ella, el mundo tiene forma, profundidad y color. Además, la luz tiene una característica única: su velocidad en el vacío es constante, independiente de la velocidad de la fuente, aunque esa velocidad sí depende del medio a través del cual se propague, siendo siempre menor que en el vacío.

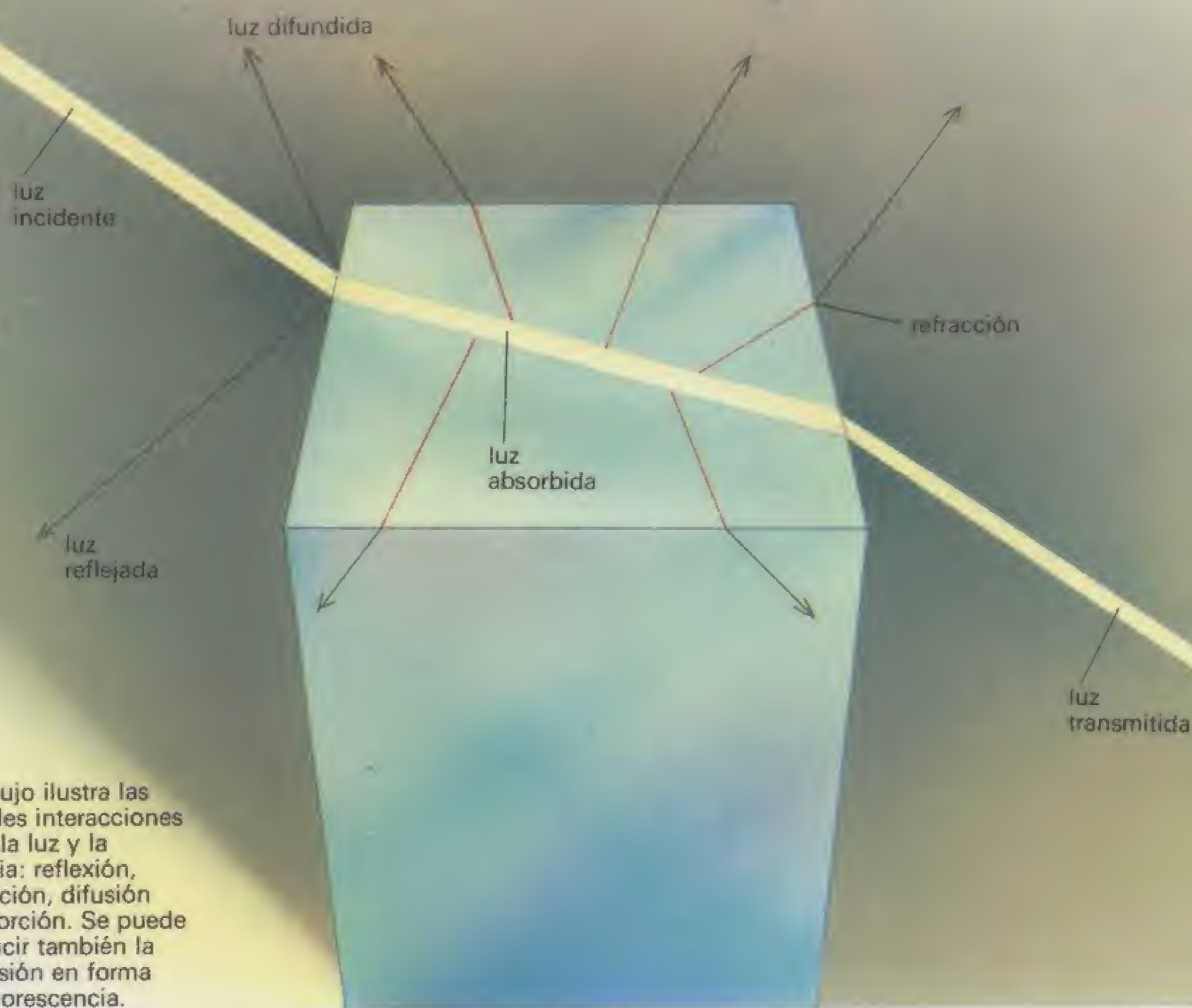
Fuentes de luz El Sol y las estrellas no son las únicas fuentes de luz, ya que las velas, las bombillas y los trozos de metal al rojo emiten luz. Existen también algunas especies de animales, como las luciérnagas y algunos peces de las profundidades marinas, que pueden emitir luz. Todos los cuerpos que emiten luz se llaman luminosos, del término latino *lumen*, que quiere decir precisamente "luz". En cambio, los seres humanos, la mayor parte de los animales, las plantas, los edificios, las rocas, la Luna y la Tierra no son cuerpos luminosos, ya que no emiten luz, pero se hacen visibles cuando la luz procedente de cualquier fuente se refleja en ellos. Un cuerpo se puede hacer luminoso de muchas formas distintas, siendo la más común la incandescencia, en la que el objeto se calienta hasta una temperatura que emite luz. Un cuerpo fluorescente emite luz cuando se bombardea con cualquier tipo de luz o de partículas. Los organismos vivos que emiten luz se llaman bioluminiscentes.

Después de que la luz ha abandonado la fuente, se puede comportar de distintas formas cuando llega a los diferentes tipos de cuerpos. Algunos tipos de vidrio y de plástico son transparentes, es decir, permiten el paso de luz sin producir prácticamente modificaciones. Algunos tipos de vidrio y de plástico, así como el papel vegetal, permiten el paso de un poco de luz, pero no la suficiente como para poder ver los objetos que están detrás: son materiales translúcidos. Los objetos que no permiten que pase la luz se llaman opacos.

Reflexión y refracción La luz se refleja cuando al alcanzar un objeto vuelve de nuevo parte de la luz que ha incidido en dicho objeto. La característica principal de la reflexión es que el ángulo con el que llega la luz a la superficie (*ángulo de incidencia*) es igual que el ángulo con el que se refleja (*ángulo de reflexión*).

Los objetos que no son luminosos se ven a través de la luz que se refleja en ellos, que muchas veces llega después de varias reflexiones. Todos los objetos reflejan una parte de la luz que les llega, inclu-

El dibujo ilustra las posibles interacciones entre la luz y la materia: reflexión, refracción, difusión y absorción. Se puede producir también la reemisión en forma de fluorescencia.



so los objetos transparentes, como el vidrio y el agua, reflejan una cierta cantidad de luz, motivo por el que a veces se pueden utilizar como espejos. Las superficies pulidas de metales, como el aluminio y la plata, absorben muy poca luz y reflejan casi toda la que les llega, proporcionando la imagen de los objetos reflejados, fenómeno que se conoce con el nombre de *reflexión especular*. Sin embargo, la mayor parte de los objetos absorbe una parte de la luz y refleja el resto de manera no uniforme, difundiéndolos rayos de luz en muchas direcciones distintas, fenómeno que se conoce como *reflexión difusa* o *difusión*.

Cuando la luz pasa de un medio con una determinada densidad a otro con una densidad diferente, su trayectoria se curva ligeramente al cambiar de medio. Esa modificación de la dirección de la luz, llamada *refracción*, es el motivo por el que el mango de una cuchara sumergido en un vaso de agua parece doblarse por el punto que penetra en la superficie del agua.

Si un rayo de luz se propaga de una sustancia poco densa, como el aire, a una sustancia más densa, como el agua o el vidrio, la luz experimenta una desviación hacia la línea perpendicular a la superficie en el punto en el que el rayo cruza los dos medios. Si el rayo pasa de una sustancia más densa a una menos densa, se aleja de esa recta. Los recorridos de los rayos de luz son reversibles: si una persona sumergida en el agua y otra fuera del agua se miran directamente, sus miradas se encuentran, aunque el recorrido de la luz no es recto y experimenta una desviación cuando los rayos entran en el agua y cuando la abandonan.

Si un rayo de luz procedente de un medio ópticamente denso incide en un medio menos denso formando un ángulo con

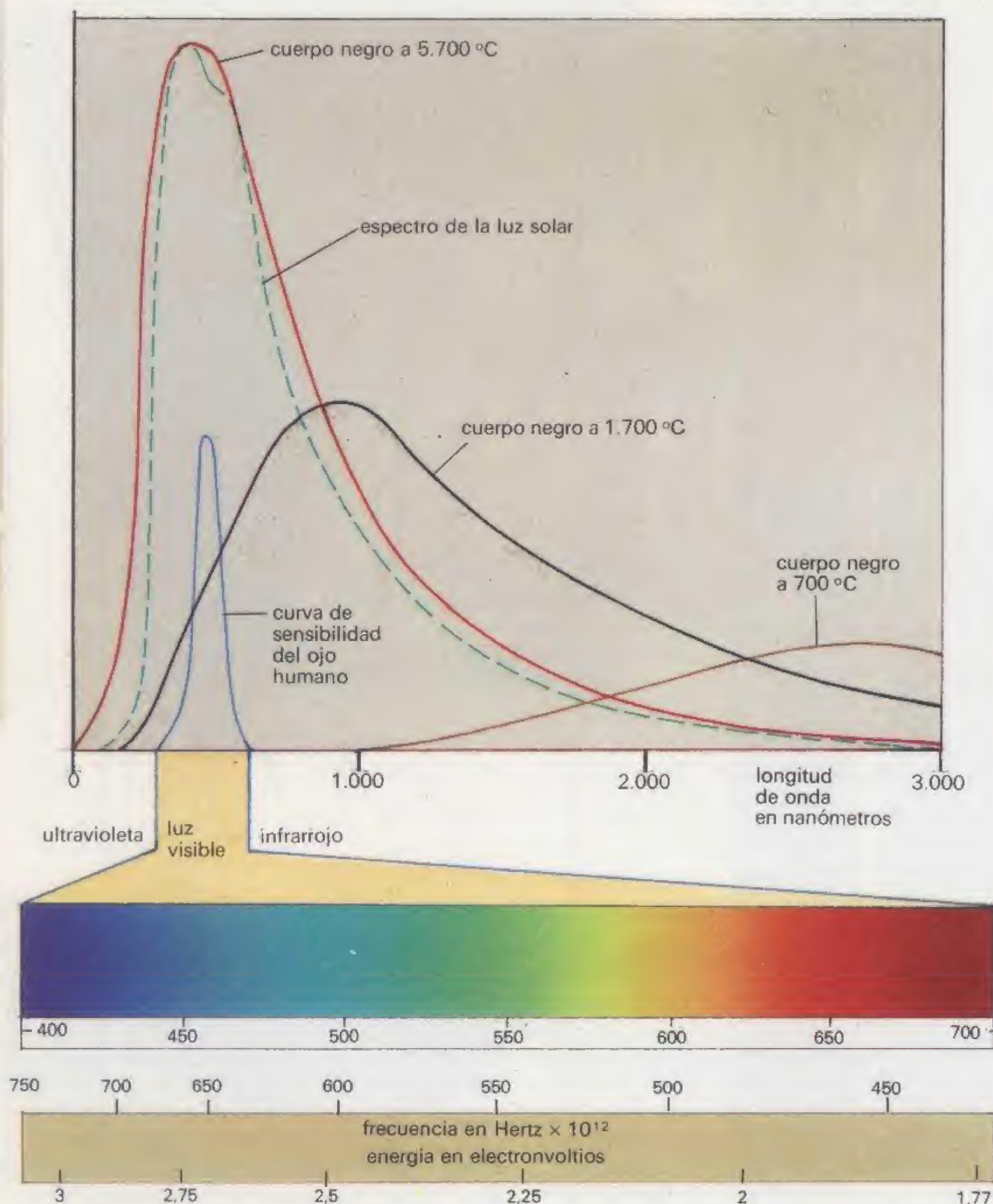
la perpendicular suficientemente grande, el rayo no puede atravesar la superficie de separación entre los dos medios y, en consecuencia, no se refracta, sino que se refleja hacia el medio denso del que procede. Este fenómeno se llama *reflexión total* y en él se basan las fibras ópticas, hilos de vidrio de diámetro extremadamente pequeño, que transmiten luz de un sitio a otro.

El color La refracción de la luz producida por un prisma demuestra que la luz blanca normal está formada por una mezcla de muchos colores diferentes. Cada uno de los colores componentes se refracta con un ángulo ligeramente distinto, y por ello un haz de luz blanca que atraviesa un prisma se distribuye en un abanico con los colores del arco iris, con el rojo en un extremo, seguido del naranja, amarillo, verde, azul y violeta. Este proceso por el que la luz se divide en los distintos colores por efecto de la refracción se llama *dispersión* y la secuencia de colores producida se conoce con el nombre de *espectro*.

Si la luz blanca alcanza un objeto coloreado, por ejemplo una cereza, su superficie absorbe algunos colores y refleja otros. En el caso de la cereza, en su piel existen sustancias llamadas pigmentos que reflejan la luz roja y absorben la luz de los demás colores. Por este motivo la cereza es de color rojo.

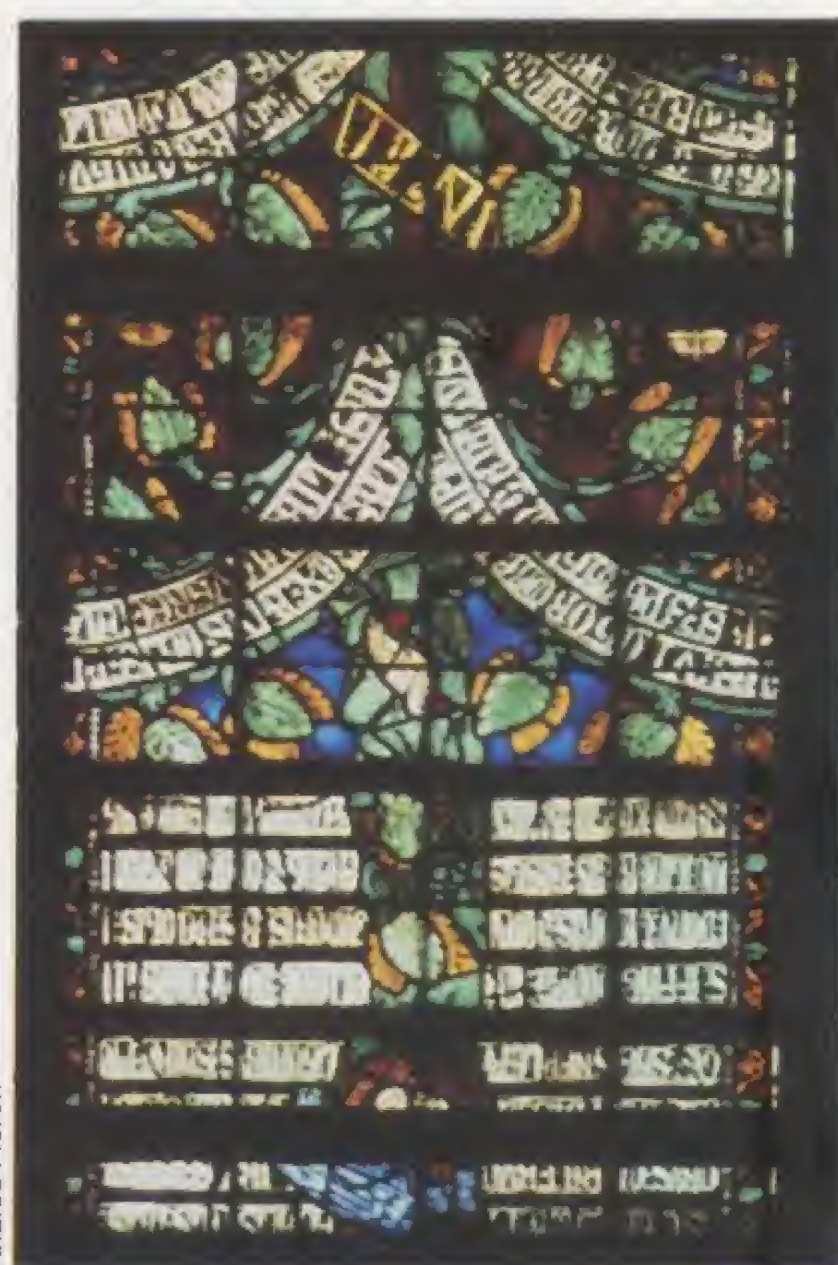
Ondas electromagnéticas Un determinado color, por ejemplo, el rojo, cubre solamente una pequeña parte del espectro luminoso que podemos ver. Pero a su vez la luz visible es sólo una pequeña parte de otro espectro, el espectro de las ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas son una forma de propagación de energía en el es-

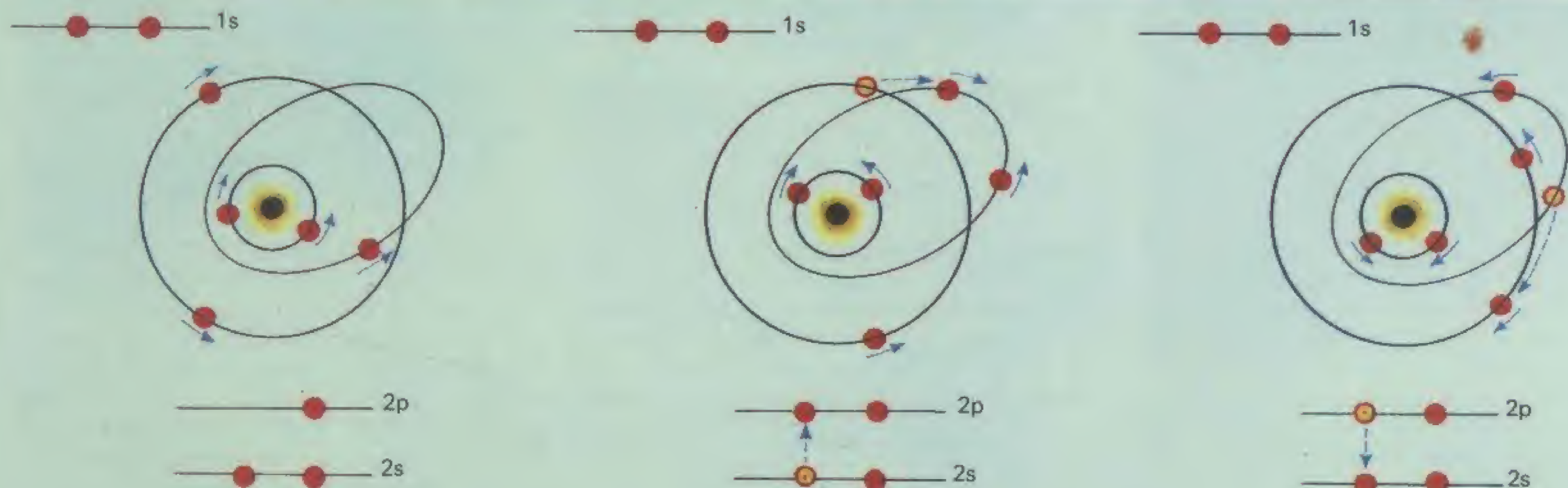


En los diagramas junto a estas líneas se han reproducido algunos espectros de radiación. El espectro del cuerpo negro a 5.700 °C coincide prácticamente con el solar. En cambio, el espectro del cuerpo negro a 700 °C está completamente fuera de la zona visible. Es de destacar el parecido entre el espectro de la luz solar y la curva de sensibilidad del ojo, lo que significa que la luz nos parece blanca cuando su composición espectral se acerca a la del espectro solar.

Los colores se distinguen a medida que su composición se aleja de la luz solar, como se puede ver en los diagramas de abajo, que son otra descripción del espectro en términos de longitud de onda, frecuencia y energía. Bajo estas líneas, un ejemplo de interacción entre luz y materia: la vidriera de la Catedral de Carcassonne, en Francia, del siglo XIV. El vidrio tiene distintos colores porque tiene sustancias minerales, como óxido de hierro y plomo.



Andrea Fioroni

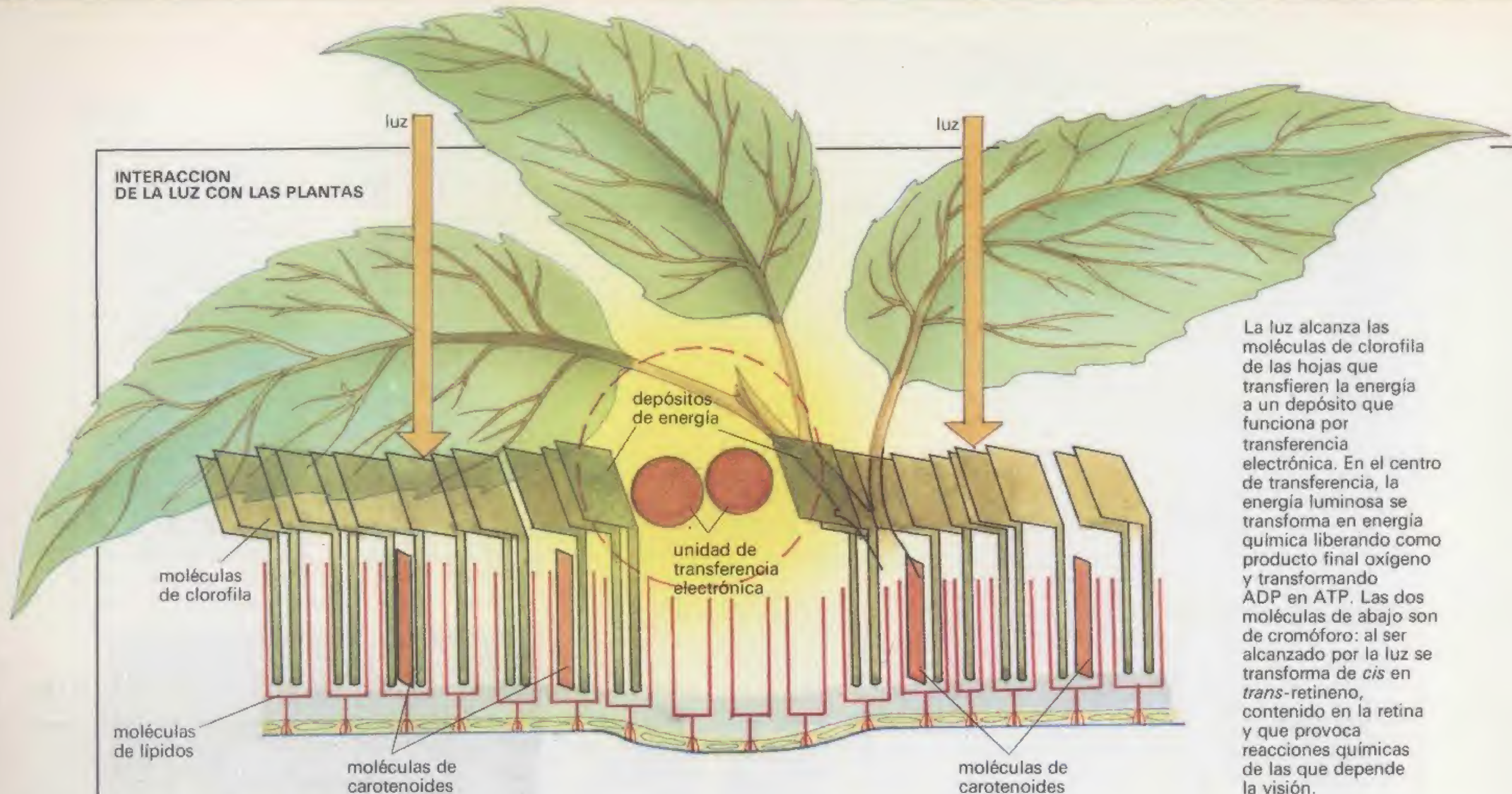


Los tres dibujos de arriba ilustran la interacción de la luz con la materia. El fenómeno se produce por la absorción de un fotón por parte de un átomo o de una molécula. Si el fotón tiene suficiente energía, el átomo o la molécula pasan de un estado a otro de más energía para

volver después al estado precedente emitiendo un fotón. A la izquierda, un fotón golpea un átomo y un electrón pasa del orbital 2s al 2p. Al volver el electrón a su órbita original, se emite un fotón (en el centro y a la derecha). El esquematismo de este ejemplo no permite captar plenamente las

modalidades de interacción. De hecho, en primer lugar, la energía no corresponde normalmente de forma precisa con la diferencia de energía de las órbitas y, en segundo lugar, los átomos ceden la energía que emiten con mecanismos distintos de la emisión de fotones

INTERACCION DE LA LUZ CON LAS PLANTAS



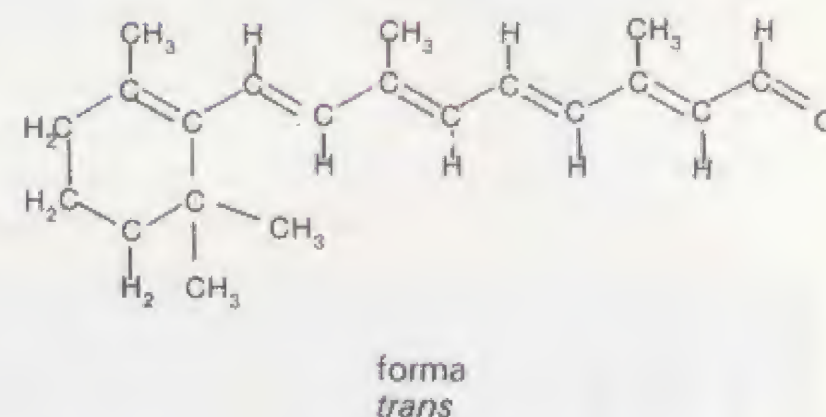
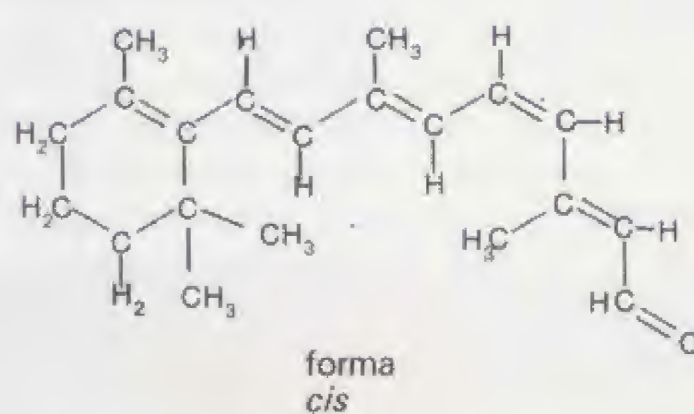
La luz alcanza las moléculas de clorofila de las hojas que transfieren la energía a un depósito que funciona por transferencia electrónica. En el centro de transferencia, la energía luminosa se transforma en energía química liberando como producto final oxígeno y transformando ADP en ATP. Las dos moléculas de abajo son de cromóforo: al ser alcanzado por la luz se transforma de *cis* en *trans*-retineno, contenido en la retina y que provoca reacciones químicas de las que depende la visión.

pacio, que se produce por una acción recíproca entre campos eléctricos y campos magnéticos variables. La propagación de esos campos recibe el nombre de ondas porque su intensidad aumenta y disminuye de forma regular, de la misma manera que las olas del mar suben y bajan.

Dos formas importantes, e interdependientes, de caracterizar una onda electromagnética, o de cualquier otro tipo, es el proporcionar el valor de la longitud de onda y de la frecuencia. La *longitud de onda* es la distancia entre dos crestas o dos mínimos de una onda, que corresponde a un ciclo completo de la onda. La *frecuencia de la onda* es el número de longitudes de onda que pasan por un determinado punto en un intervalo de tiempo. La velocidad de la onda es igual a su frecuencia multiplicada por la longitud de onda, y como la velocidad de la luz es constante en un determinado medio, la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia: cuanto menor es la longitud de onda, mayor es la frecuencia y mayor la energía transportada por la onda.

Los distintos tipos de onda electromagnética se distinguen por su distinta longitud de onda. La luz visible, que ocupa sólo una estrecha banda en el centro del espectro electromagnético, tiene longitudes de onda que van desde aproximadamente 650 nm (luz roja) a 400 nm (luz violeta), con las frecuencias correspondientes comprendidas entre 375 y 750 billones de ciclos por segundo. A cada uno de los colores se le asocia una longitud de onda y una frecuencia en el interior de su intervalo.

Las ondas electromagnéticas con energía algo mayor que la de la luz visible (y con longitudes de onda más cortas que las del violeta) se llaman radiaciones ultravioletas. Las ondas que tienen un poco menos de energía que la luz visible (y longi-



tudes de onda más largas que la luz roja) se llaman radiaciones infrarrojas. Los rayos X son más energéticos que la radiación ultravioleta, y los rayos gamma y los rayos cósmicos son todavía más energéticos, con longitudes de onda inferiores a 10^{-10} cm. Las microondas, en cambio, son menos energéticas que la luz infrarroja y las ondas de radio lo son todavía menos, con longitudes de onda del orden de metros.

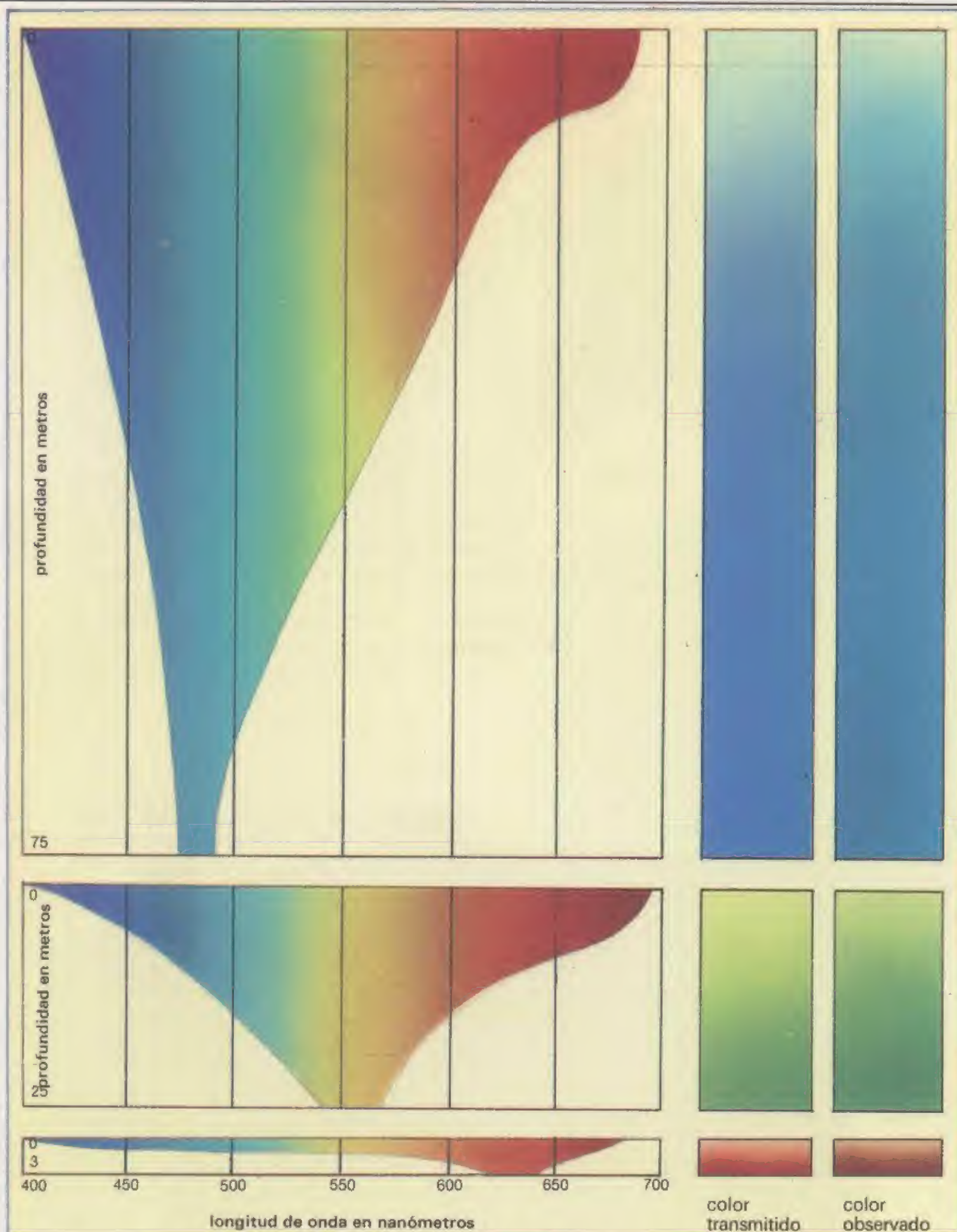
Partículas y ondas En la primera mitad de este siglo surgió una disputa sobre la naturaleza de la luz, en un intento de decidir si ésta estaba formada por partículas o por ondas. Los datos experimentales pueden corroborar tanto una hipótesis como la otra. Un conocido experimento que realizó el científico inglés Thomas Young a principios del siglo pasado parecía confirmar sin lugar a dudas que la luz estaba formada por ondas. El experimento de Young se basaba en un fenómeno llamado *interferencia*. Cuando dos fuentes diferentes se superponen en una cierta zona del espacio, producen sobre una pantalla una configuración de rayas especial por efecto de la superposición de las crestas, de los mínimos, y de las crestas con los mínimos.

Esas figuras se denominan *frangas de interferencia* y su presencia constituye una demostración de la naturaleza ondulatoria de la luz.

Por otra parte, un experimento del físico Arthur Holly Compton parecía confirmar que la luz estaba formada por partículas. El experimento de Compton estaba basado en la propiedad que tiene un cuerpo de perder energía cuando choca con otro cuerpo. Una bola de billar que golpea a otra bola rebota con una dirección diferente y con una energía algo menor, debido a que ha cedido una parte de su energía a la otra bola. Compton dirigió rayos X sobre átomos de carbono y encontró que sus longitudes de onda cambiaban, aumentando ligeramente después de haber golpeado los electrones de los átomos, además de rebotar hacia un lado. Esto significa que los rayos X habían perdido un poco de energía y se habían comportado como partículas. Las partículas que constituyen la radiación electromagnética se llaman *fonones*, nombre derivado del término griego que significa "luz".

Estos experimentos y otros similares parecían indicar algo insospechado y casi impensable en ese momento: que la luz podía tener una naturaleza dual. Hasta tal punto era así que el físico británico sir Williams Bragg comentó que los científicos no tenían más remedio que pensar que la luz estaba formada por ondas los lunes, miércoles y viernes, y por partículas los martes, jueves y sábados.

Posteriormente se comprobó que la luz es un fenómeno particular que se comporta como partícula y como onda. Esto sería

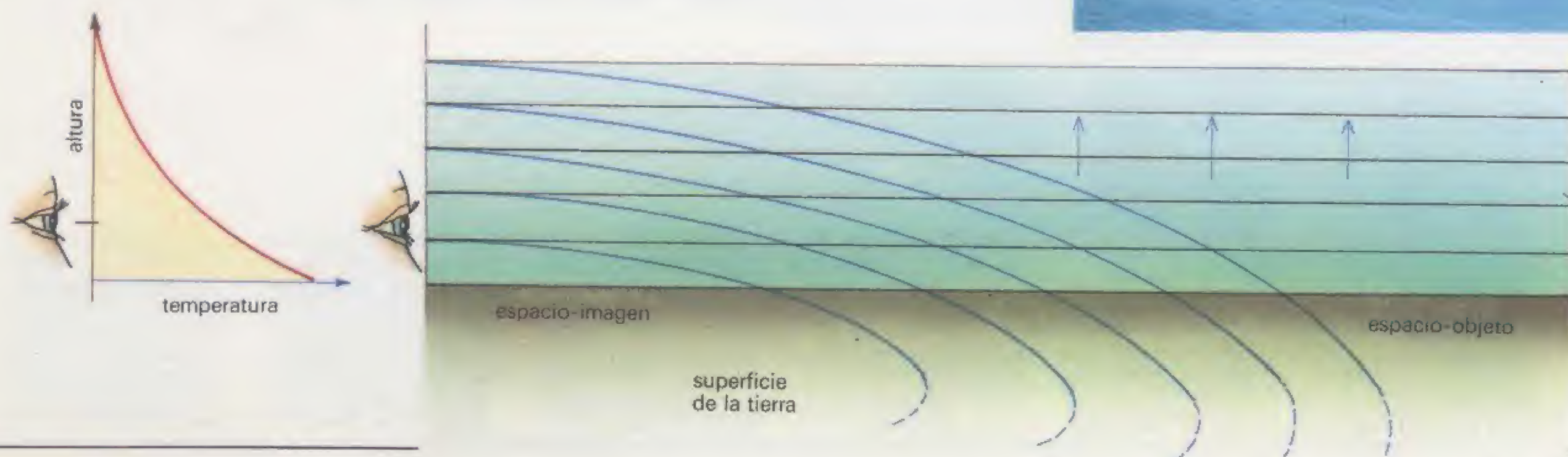
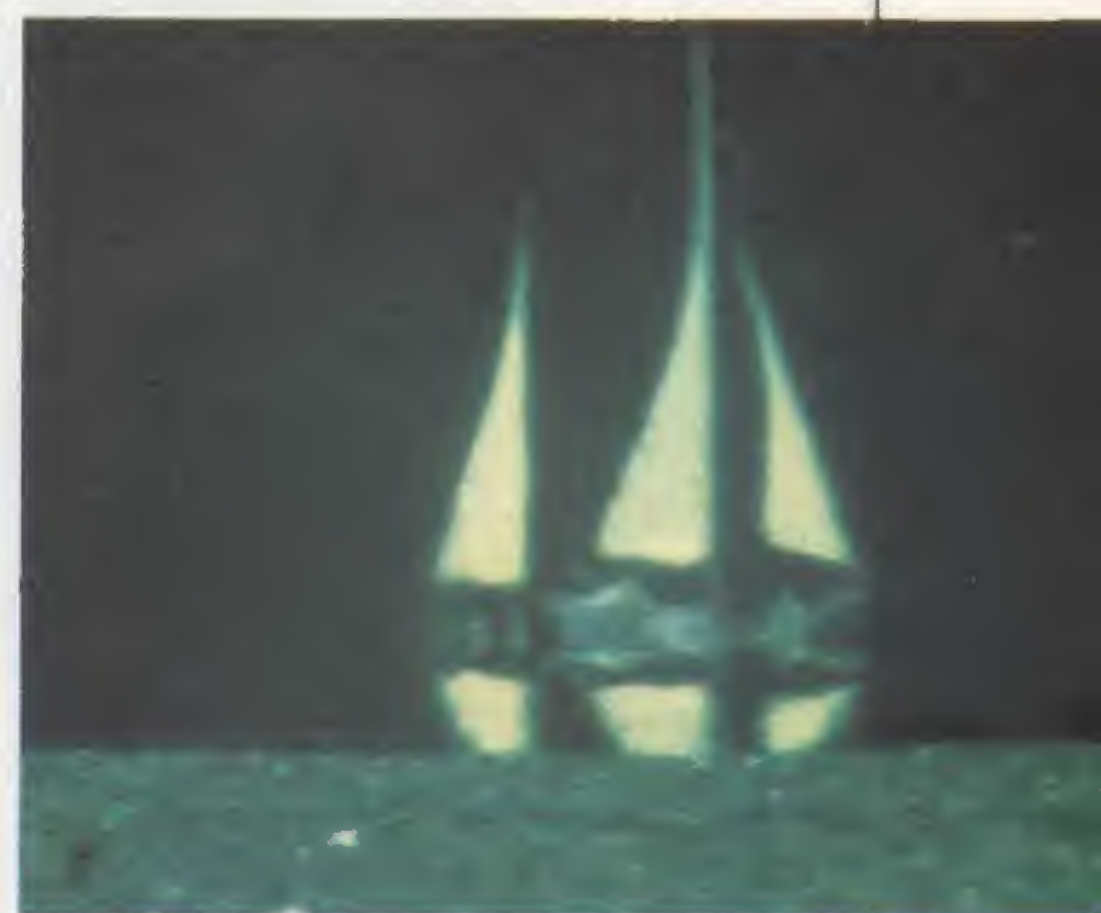


En las tablas observamos las modalidades de transmisión de la luz en el agua: depende de la longitud de onda de la luz, es decir, del color. El primer diagrama representa la transmisión de luz en las aguas claras de los lagos y mares: al aumentar la distancia en profundidad, la luz se hace cada vez más monocromática y azul. El segundo diagrama representa la transmisión

de la luz en aguas dulces que contienen materia orgánica verde, motivo por el que la luz se hace cada vez más verde, siendo absorbida más rápidamente que en las aguas claras. Finalmente, en el tercer diagrama, la luz que llega a los ríos y charcas tiende a redistribuir su espectro hacia la longitud de onda del rojo si existen sustancias orgánicas en descomposición.

Uno de los fenómenos naturales más llamativos de la interacción luz-atmósfera son los espejismos. La primera foto de abajo reproduce el espejismo de un barco de vela: el barco no sería visible porque está muy lejos, pero la existencia de un banco de tierra con aire caliente encima ha hecho que los rayos de luz se desvíen, permitiendo que superen la curvatura terrestre y lleguen al ojo del observador. El esquema de abajo representa una situación teórica de formación de un espejismo. Este

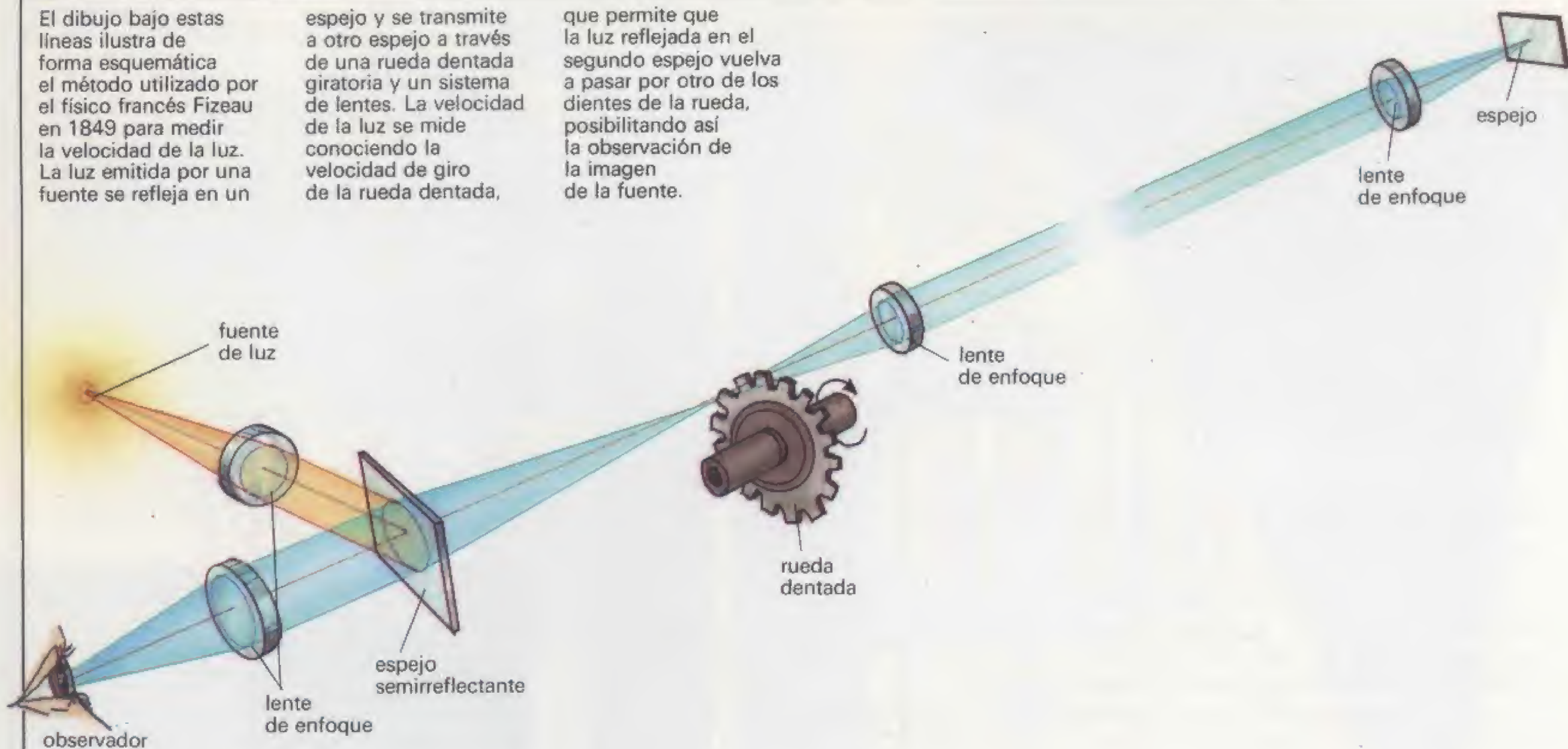
se produce cuando el gradiente de temperatura es máximo con temperaturas elevadas; entonces, los rayos de luz se curvan hacia abajo por el calor del suelo, produciendo un espacio-imagen en el que se percibe el espejismo, opuesto al espacio-objeto en el que pasan los rayos rectos de luz que no percibe el ojo. En la segunda foto, situada sobre el esquema, vemos un círculo parélico debido a la reflexión de la luz en los cristales del hielo en suspensión en el aire de alta montaña.



El dibujo bajo estas líneas ilustra de forma esquemática el método utilizado por el físico francés Fizeau en 1849 para medir la velocidad de la luz. La luz emitida por una fuente se refleja en un

espejo y se transmite a otro espejo a través de una rueda dentada giratoria y un sistema de lentes. La velocidad de la luz se mide conociendo la velocidad de giro de la rueda dentada,

que permite que la luz reflejada en el segundo espejo vuelva a pasar por otro de los dientes de la rueda, posibilitando así la observación de la imagen de la fuente.



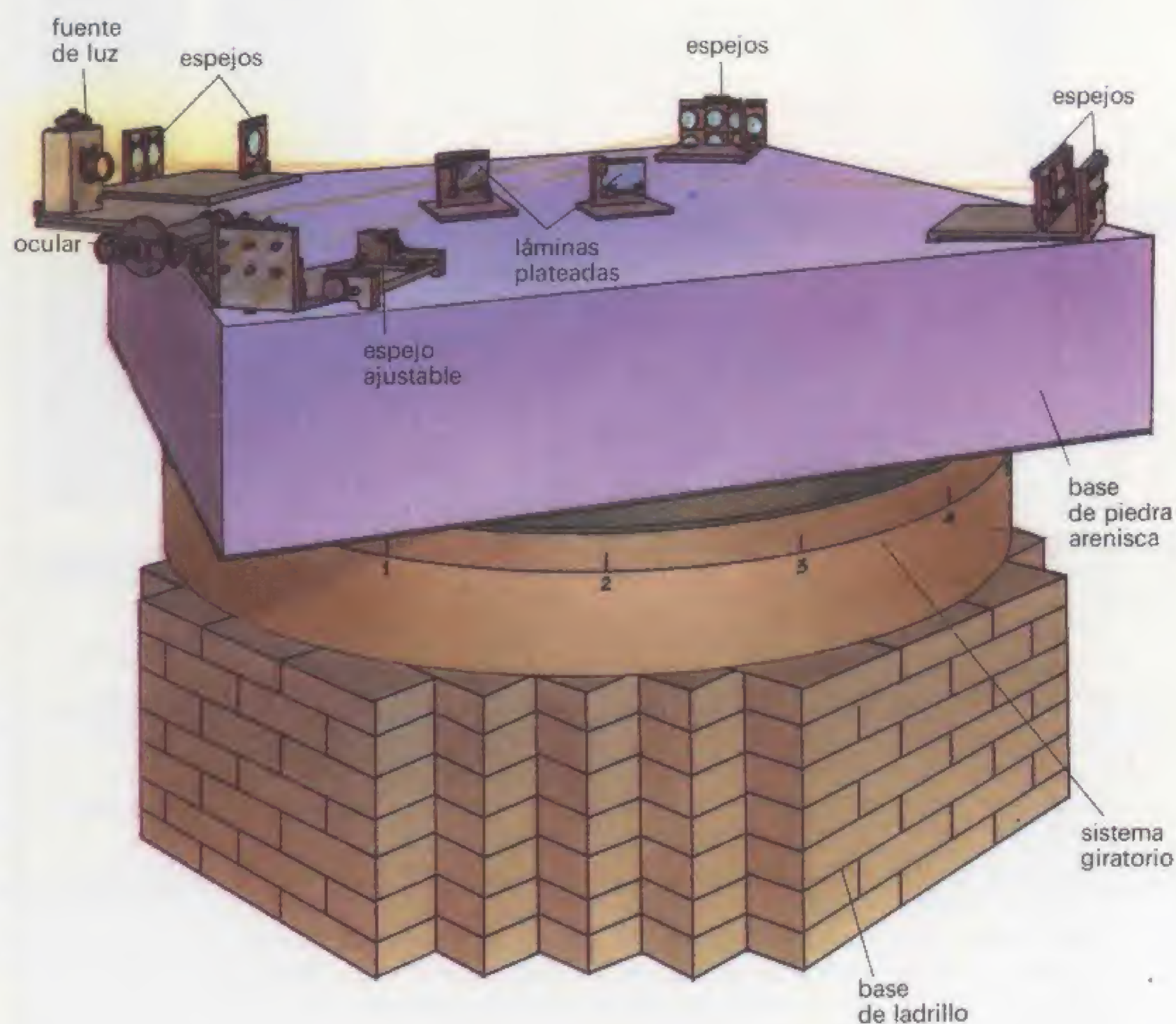
contradictorio sólo en el caso de que los físicos aceptaran la definición estricta del comportamiento de ondas y partículas, según la cual una onda es siempre una ondulación de energía y una partícula es una entidad distinta y separada, como una bala o un grano de arena.

Ninguno de esos conceptos se puede aplicar a la luz. Una descripción adecuada de la luz se puede hacer solamente si se tiene presente que el mundo subatómico tiene unas leyes muy distintas que las que parecen gobernar el mundo que percibimos a simple vista. El conocimiento de ese mundo ha sido posible, ya en nuestro siglo, en la rama de la Física denominada Mecánica cuántica, y ha sido muy útil para explicar no sólo la naturaleza dual de la luz sino también muchos otros hechos incomprensibles, como el que la luz pueda producir en un material una corriente eléctrica (*efecto fotoeléctrico*) y el que los átomos emitan luz de longitudes de onda bien determinadas.

Velocidad de la luz Sea cual sea su frecuencia, la luz se propaga siempre a la misma velocidad en el vacío, 300.000 km por segundo, y es lo único del Universo que puede moverse con una velocidad tan alta y que se desplaza siempre a la misma velocidad, sea cual sea la velocidad a la que se mueve su fuente.

Todo esto es mucho más extraño de lo que pueda parecer. Como ejemplo se puede pensar en un lanzador que lance una pelota a 160 km por hora estando sobre una plataforma que se mueve a 80 km por hora. Si el lanzador tira la bola hacia adelante, ésta se mueve, respecto a un recogedor de pelotas parado, a 240 km por hora.

En el caso de la luz esto no sucede así. Si una nave espacial que se mueve a 160.000 km por segundo hacia la Tierra en-



En 1887, los físicos Michelson y Morley efectuaron un experimento en el que se medía la velocidad de la luz valorando las diferencias de las franjas de interferencia de dos rayos con

distinto recorrido, transmitidos por medio de un dispositivo óptico. Una base de ladrillo sujetaba un recipiente lleno de mercurio en el que flotaba una placa de piedra arenisca de

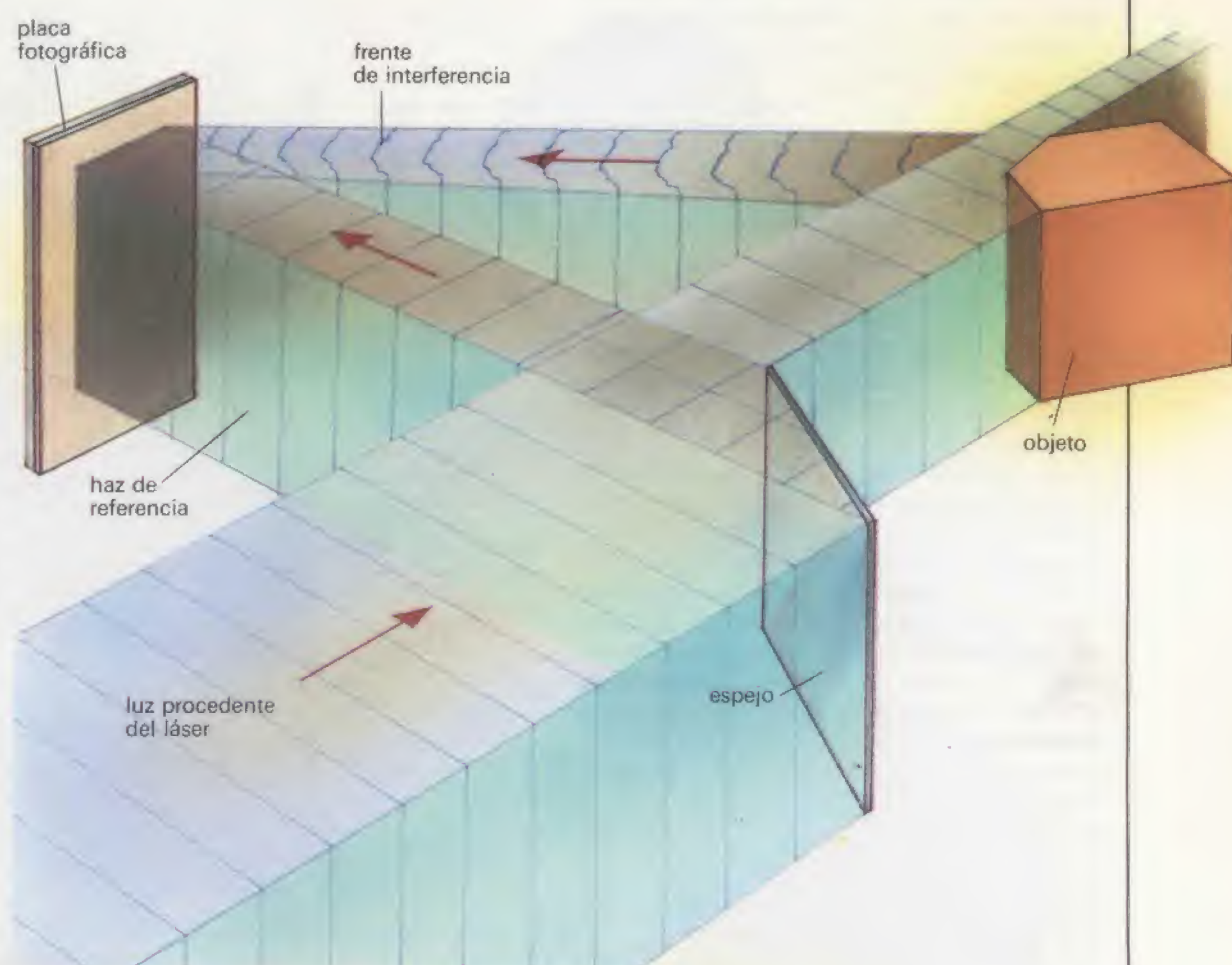
1,5 metros de lado, todo ello para reducir las tensiones y vibraciones externas que habrían influido en el experimento. La placa de piedra se podía girar además en cualquier dirección,

permitiendo observaciones desde cualquier ángulo. El experimento de Michelson y Morley tuvo cierta influencia a la hora de enunciar la teoría de la relatividad.

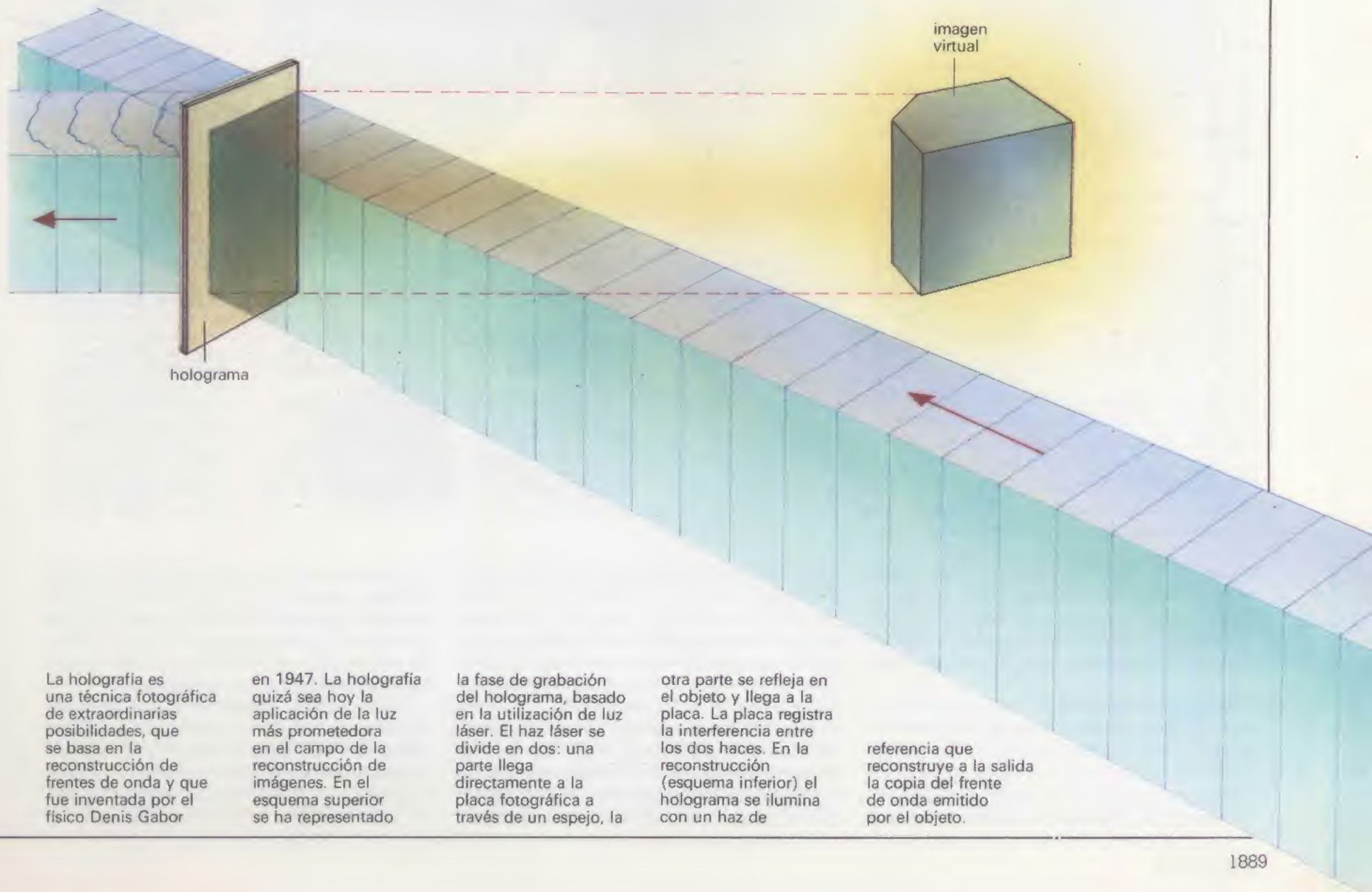
vía una señal de radio a su base, sería lógico esperar que la señal se aproximara a la Tierra a una velocidad de 460.000 km por segundo. Sin embargo no es así: la velocidad de acercamiento de la onda sigue siendo de 300.000 km por segundo.

La invariabilidad de la velocidad de la luz es una de las razones por las que un comité internacional de científicos ha redefinido las unidades de medida de longitud en función de la velocidad de la luz. El metro se define como la distancia recorrida por la luz en $1/299.792.458$ de segundo. Esto significa también que la velocidad de la luz se conoce actualmente con precisión absoluta: 299.792.458 metros por segundo.

Aunque pueda parecer poco importante, el valor constante de la velocidad de la luz, prescindiendo del movimiento de su fuente, tiene consecuencias enormes que modifican el significado de nuestra concepción ordinaria de espacio, tiempo y energía. A partir de esto, por ejemplo, Einstein dedujo la fórmula $E=mc^2$ (la energía es igual al producto de la masa por el cuadrado de la velocidad de la luz).



Véase Color; Fibras ópticas; Holografía; Láser; Luz polarizada; Relatividad, teoría general de la; Relatividad restringida ($E=mc^2$)



La holografía es una técnica fotográfica de extraordinarias posibilidades, que se basa en la reconstrucción de frentes de onda y que fue inventada por el físico Denis Gabor

en 1947. La holografía quizá sea hoy la aplicación de la luz más prometedora en el campo de la reconstrucción de imágenes. En el esquema superior se ha representado

la fase de grabación del holograma, basado en la utilización de luz láser. El haz láser se divide en dos: una parte llega directamente a la placa fotográfica a través de un espejo, la

otra parte se refleja en el objeto y llega a la placa. La placa registra la interferencia entre los dos haces. En la reconstrucción (esquema inferior) el holograma se ilumina con un haz de

referencia que reconstruye a la salida la copia del frente de onda emitido por el objeto.

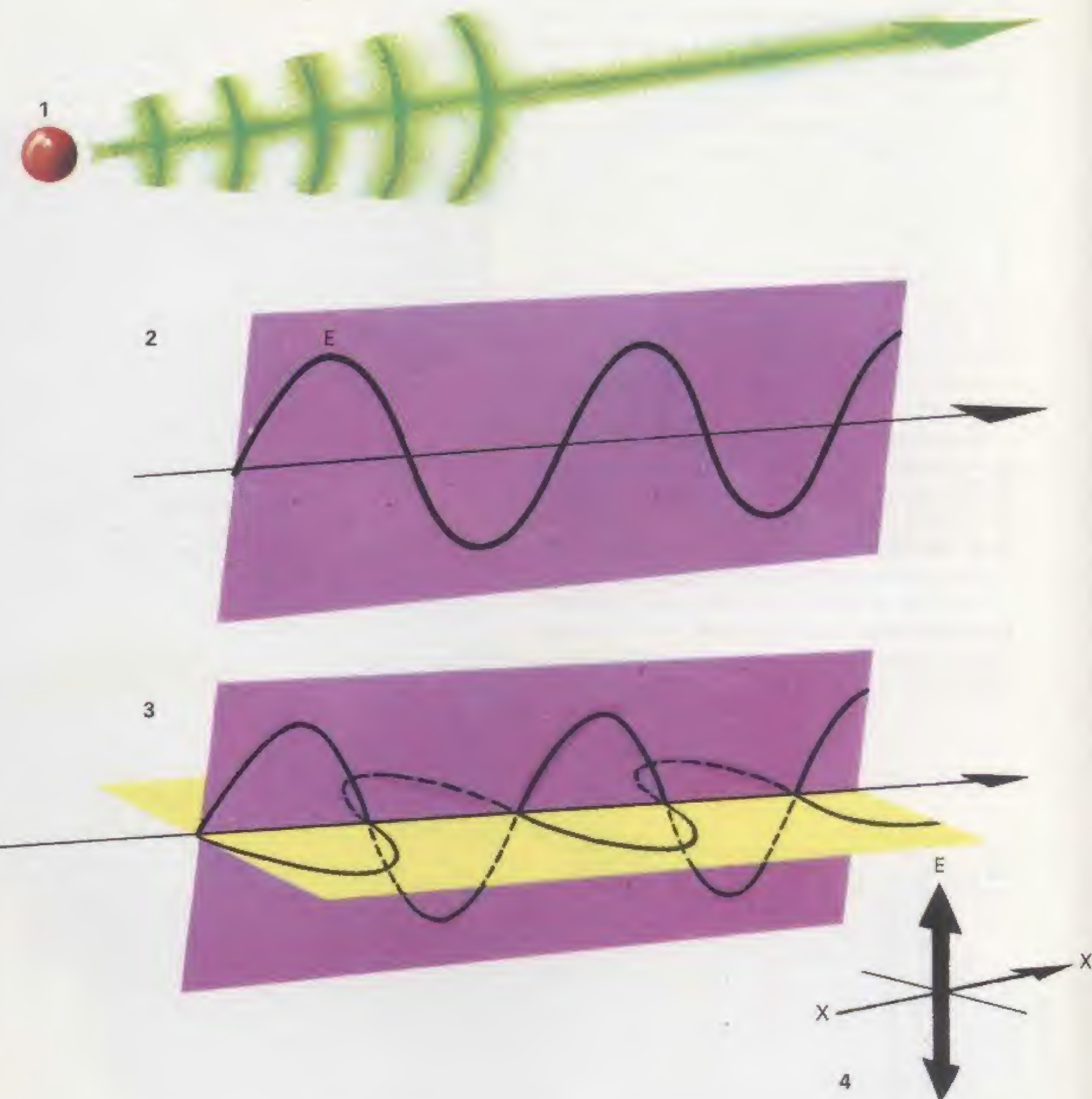
Luz polarizada

El ojo humano puede percibir algunas propiedades de la luz, como la intensidad y el color, sin embargo, el estado de polarización es una propiedad que el ojo no es capaz de detectar.

Luz natural y luz polarizada Para entender lo que es la luz polarizada, hay que entender primero las características de la luz natural, sin polarizar. La luz no polarizada viaja oscilando en cualquier dirección perpendicular a la dirección de propagación con una amplia variedad de configuraciones de las ondas. Una forma clásica de visualizar la luz natural es considerar una cuerda larga sujeta por un extremo a la pared. Si se mueve el otro extremo en todas las direcciones posibles perpendiculares a la cuerda, las ondas que se dirigen a la pared oscilan (vibran) de manera arbitraria y confusa. La luz natural normal se propaga de una forma similar. Si se mueve el extremo de la cuerda con cuidado sólo hacia arriba y hacia abajo, las ondas se alejarán del extremo oscilante con una configuración ordenada. En este caso, lo más importante es que las crestas y los valles de esas ondas se mantienen en un plano, oscilando perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda. Esta es la llamada *polarización lineal*. Este tipo de ondas compuestas por crestas y valles recibe el nombre de *ondas transversales* y cuando las ondas transversales de un haz de luz tienen una posición determinada relativa a la dirección de propagación de dicho haz, se dice que la luz está polarizada. Haciendo que la dirección de oscilación del extremo gire, se puede obtener la llamada polarización circular o elíptica si el extremo oscila según los diámetros de una circunferencia o de una elipse.

Tipos de luz polarizada Para que las caóticas ondas de la luz natural se transformen en polarizadas, tienen que experimentar un proceso de reorganización, que se produce normalmente cuando la luz atraviesa un objeto. Imaginemos que la cuerda pase por una rendija vertical: si las ondas en la cuerda están en el plano vertical, pasan por la rendija sin encontrar obstáculo alguno, mientras que si las ondas se mueven en el plano horizontal, no pueden "adaptarse" a la rendija vertical y no pueden pasar. Esto mismo sucede en los cristales de las gafas de sol polaroid. De la misma forma que la rendija vertical, las gafas polaroid tienen una serie de rendijas (en realidad es una sucesión de cristales microscópicos situados verticalmente) que absorben las deslumbrantes ondas luminosas con polarización horizontal, asociadas a la luz reflejada, dejando pasar sólo la luz polarizada verticalmente.

Polarizadores lineales La mayor parte de las radiaciones luminosas se pueden polarizar linealmente (polarización plana) y existen varios tipos de dispositivos, llamados *polarizadores lineales*, capaces de hacerlo. Las gafas de sol tipo polaroid son



En la Naturaleza se puede observar una propiedad muy importante de las ondas: la polarización. En la orilla del mar el ir y volver de las olas sobre la playa trae y lleva ramitas y granos de arena. Las partículas de agua que forman la ola oscilan en un plano llamado *de polarización*. También la luz puede ser una onda polarizada. En los dibujos sobre estas líneas se pueden ver vibraciones electromagnéticas

polarizadas. Si se observa un átomo que emite luz (1), radiándola a su alrededor, el espacio se llena, durante un período de tiempo muy corto (nanosegundos), de ondas electromagnéticas que se alejan del átomo a la velocidad de la luz. En un punto cualquiera del espacio se podría observar una variación rapidísima del campo eléctrico y del campo magnético, es decir, debido a la radiación que emite el

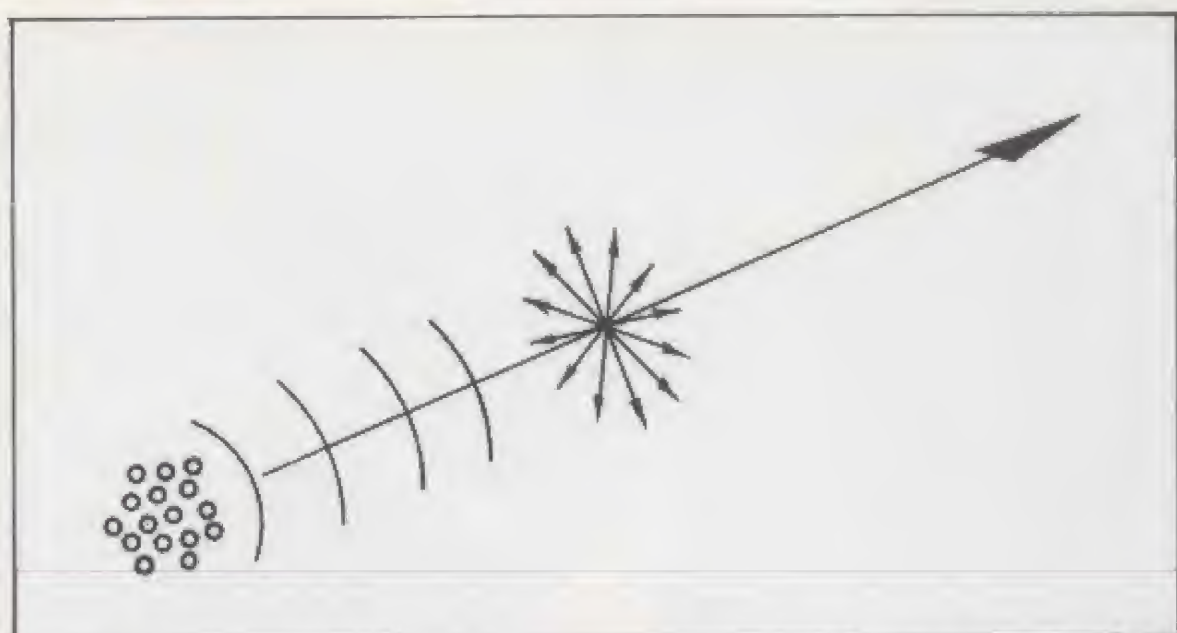
átomo, existen fuerzas de naturaleza eléctrica que cambian rápidamente de sentido dentro de una dirección única. Las vibraciones del campo eléctrico se producen en un plano que se ha indicado como plano E en la figura (2). Al mismo tiempo oscila un campo magnético en un plano perpendicular, figura (3). La radiación electromagnética se puede representar de forma resumida como en la figura (4): X, X es la dirección y el

sentido de propagación de la onda eléctrica, mientras que E es la dirección, perpendicular a la anterior, variación del campo eléctrico. La otra dirección, perpendicular a las dos anteriores, representa la dirección de variación del campo magnético. Una onda en la que el vector campo eléctrico (y en consecuencia también el vector campo magnético) se mantenga en un determinado plano está polarizada.

un ejemplo de polarizador dicroico. Los *materiales dicroicos*, formados por cristales, dividen la luz que entra en su interior en dos haces polarizados linealmente en planos perpendiculares entre sí. Dependiendo de la orientación del cristal, las ondas que están polarizadas según uno de los dos planos pueden atravesarlo, saliendo como luz polarizada, mientras las ondas polarizadas en los demás planos no atraviesan el cristal porque éste las absorbe. Un conjunto de diminutos cristales di-

croicos situado en una hoja plana —por ejemplo, una película de celulosa— forman las llamadas láminas polarizadoras que son el elemento básico de las gafas de sol polaroid y de los filtros polarizadores para máquinas fotográficas.

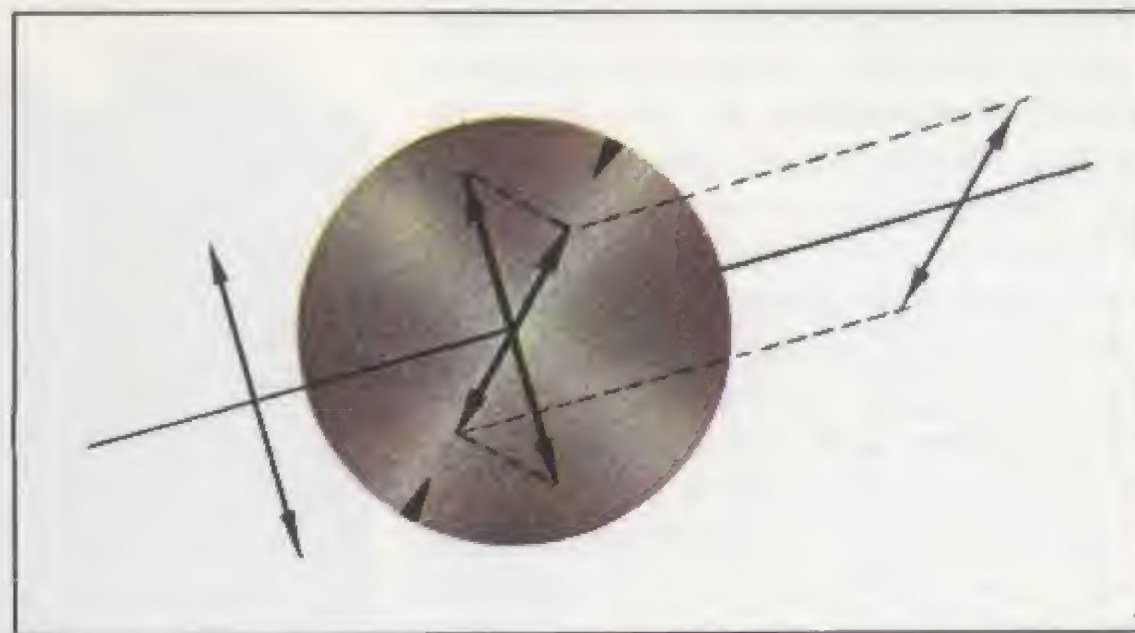
Un fenómeno relacionado con la polarización es el de la *birrefringencia* (doble refracción). Se trata de la propiedad que tienen algunos cristales, como la calcita y el cuarzo, de desdoblar un único rayo de luz en dos rayos separados. Esos dos ra-



Arriba, a la izquierda: emisión de luz por un grupo de átomos. Cada uno de ellos emite un rayo de luz y produce en el espacio una vibración polarizada (como ya se ha visto en la página anterior en el caso de un

átomo único). Cada átomo emite su luz en un plano de polarización distinto, por lo que la luz compuesta de esta forma recibe el nombre de no polarizada, o normal. Existen ciertos materiales con los que

se puede realizar un polarizador (a la derecha), dispositivo que separa de la luz normal (cuyo vector oscila en todos los planos posibles) la parte de luz cuyo vector vibra en una determinada dirección.

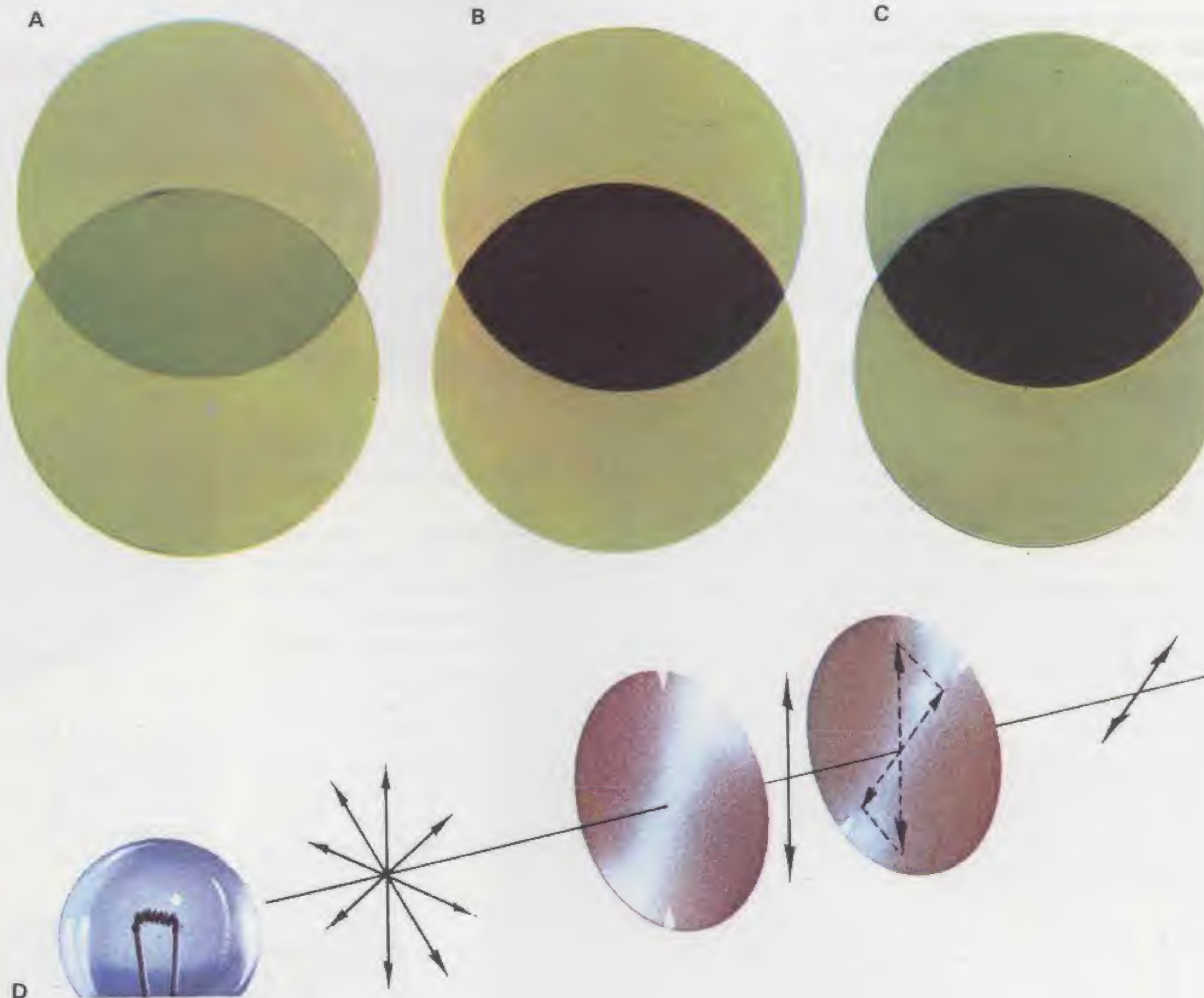


Entre los distintos tipos de polarizador está el *polaroide*, que consiste en un material plástico cubierto por una capa muy fina de yodo, protegido a su vez con una capa muy fina del mismo material

plástico. Los polarizadores se han representado con círculos ligeramente opacos y las dos muescas indican la dirección del plano de polarización de la luz que lo atraviesa. Si se ilumina con luz

normal, un polarizador deja pasar solamente las ondas cuyo vector campo eléctrico vibra en la dirección permitida, o la proyección geométrica de los vectores inclinados respecto a ella.

En el dibujo de la derecha se han representado dos polarizadores que están situados delante de una fuente de luz intensa. En (A) las direcciones de polarización son paralelas, y la luz que atraviesa los dos polarizadores es sólo un poco menor que la que atraviesa uno sólo. Si se gira uno de los polarizadores un cierto ángulo (B), la luz transmitida por el conjunto disminuye sensiblemente. Esto sucede porque el primer polarizador deja pasar sólo la luz que tiene el vector eléctrico en la dirección indicada por sus dos muescas. De la misma forma, el segundo polarizador deja pasar sólo la luz polarizada en la dirección de sus muescas, que no coincide completamente con la dirección de las muescas del primer polarizador (D). En último lugar, si se colocan los dos polarizadores de forma que las dos direcciones permitidas sean perpendiculares (C), la luz no pasa.



yos se propagan en el cristal a velocidades diferentes y emergen como dos haces independientes de luz, ambos polarizados, con los respectivos planos de polarización perpendiculares. El prisma de Nicol es un ejemplo de dispositivo para producir birrefringencia.

Polarización natural En la Naturaleza se observan algunos casos de luz polarizada por reflexión, el resol es uno de ellos. También la luz indirecta que difunde la at-

mósfera o una superficie rugosa en todas las direcciones tiene un porcentaje de polarización. Un tipo selectivo de rotación natural de la luz polarizada tiene aplicaciones interesantes en Química orgánica. Algunos compuestos del carbono son llamados ópticamente activos, porque, al atravesarlos la luz polarizada plana, hacen que gire el plano de polarización de la luz. La estructura molecular de esos compuestos produce una rotación del plano de polarización en un sentido y con un ángulo

determinados. Ese ángulo de giro permite determinar la estructura molecular de ciertos compuestos del carbono que está formada por átomos situados en forma no simétrica.

Véase Luz; Polaroid, máquina fotográfica

Llaves, fabricación de

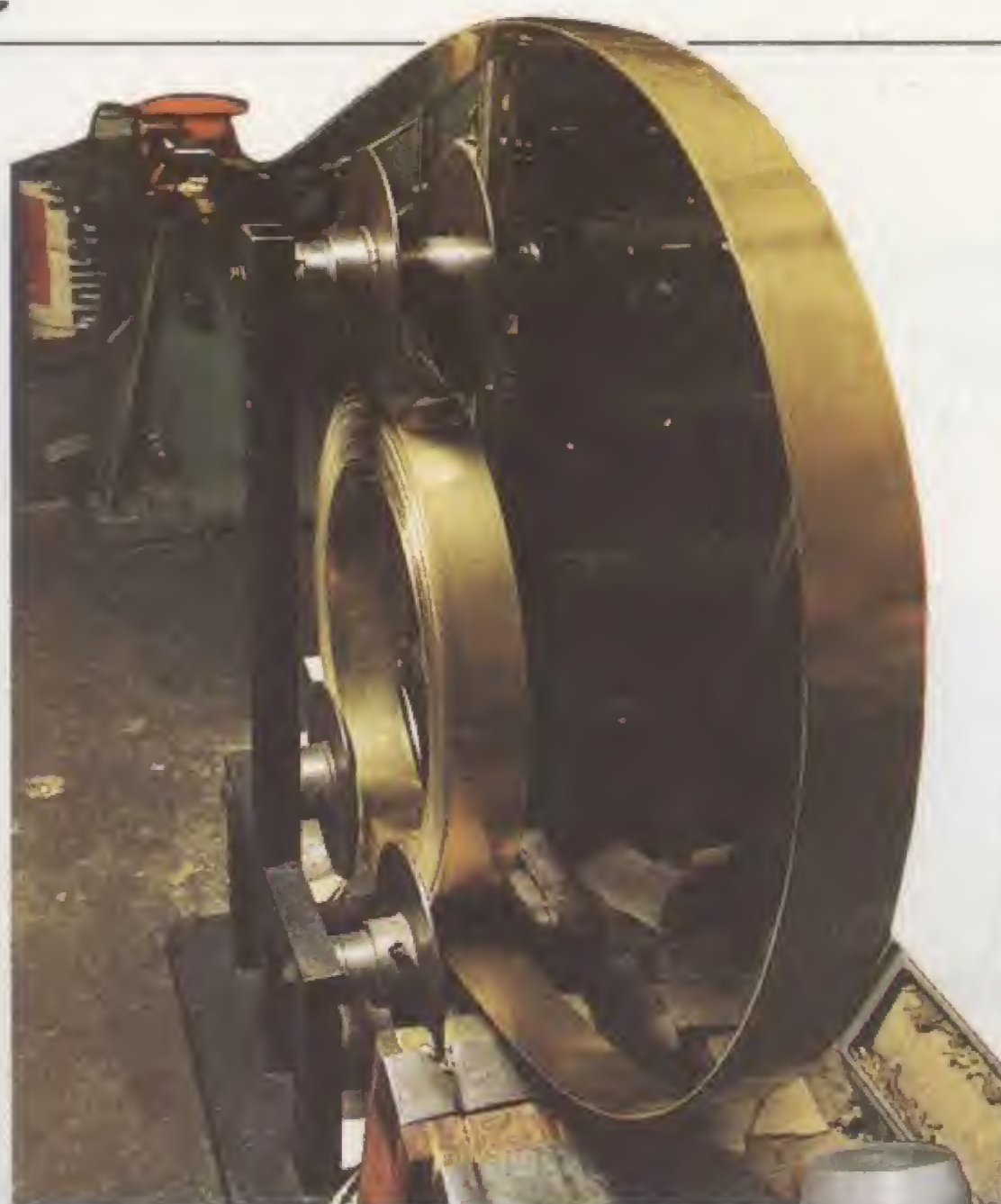
Antiguamente, las llaves de una ciudad eran grandes objetos de madera que abrían las puertas de las murallas construidas alrededor del núcleo de población. Ya entonces era necesario proteger a las personas y la propiedad. Esos pequeños objetos que sirven hoy en día para proteger nuestros bienes derivan de las simples cerraduras y llaves inventadas por los egipcios. Los antiguos egipcios muchas veces sepultaban a los muertos con sus llaves: quizá tenían la esperanza de que pudiesen abrir las puertas de mundos futuros. Es interesante destacar que se pensaba que sólo las llaves y no las cerraduras tenían poderes mágicos y que eran símbolos de masculinidad; por el contrario, las cerraduras representaban la femineidad.

Las cerraduras y las llaves de los primitivos griegos eran más simples que las de los egipcios y estaban compuestas por trozos de metal con forma de pequeña hoz; a veces eran tan grandes que podían llevarse sobre la espalda. Los romanos fabricaron llaves de bronce y hierro, siendo también los primeros en usar muelles en sus cerraduras.

Existen muchas colecciones de llaves antiguas, entre las que destacan las pertenecientes al siglo XVI, procedentes de Francia; en aquellos tiempos las llaves se transformaron en obras de arte y se conocieron como *clefs de chef-d'oeuvre*, o llaves "obra maestra". Las llaves inglesas, francesas y alemanas se cortaban de un solo trozo de metal, mientras que generalmente las llaves italianas se hacían con varios trozos distintos. Los españoles fabricaron llaves extraordinarias, decoradas casi siempre con figuras de personas o animales. Hasta el siglo XIX las llaves fueron generalmente grandes y decorativas, mientras que las de hoy tienden a ser prácticas, pequeñas y simples en el diseño y hechas de metal resistente.

Partes de una llave Las modernas llaves de metal tienen cinco partes principales:

1. **Ojo**, parte por donde se sujeta la llave. Generalmente va provisto de un orificio por donde la llave se introduce en el llavero.



Hoy en día, las llaves más extendidas son las planas, que se pueden fabricar fácilmente en gran cantidad, por lo menos en lo que se refiere al proceso que les da la forma inicial. Dicha forma se obtiene mediante cizallado en un molde accionado por la máquina ilustrada a la izquierda, que puede trabajar autónomamente. La materia prima es la plancha de latón en aleación dura especial.

2. **Espalda**, pequeñas muescas que sirven de tope y que determinan la profundidad hasta la que se puede introducir la llave en la cerradura.

3. **Paletón**, parte de la llave que se introduce en la cerradura.

4. **Borde dentado**, llamado también *cor-te* o *perfil*, perfilado adecuadamente para que la llave sólo funcione en su cerradura correspondiente.

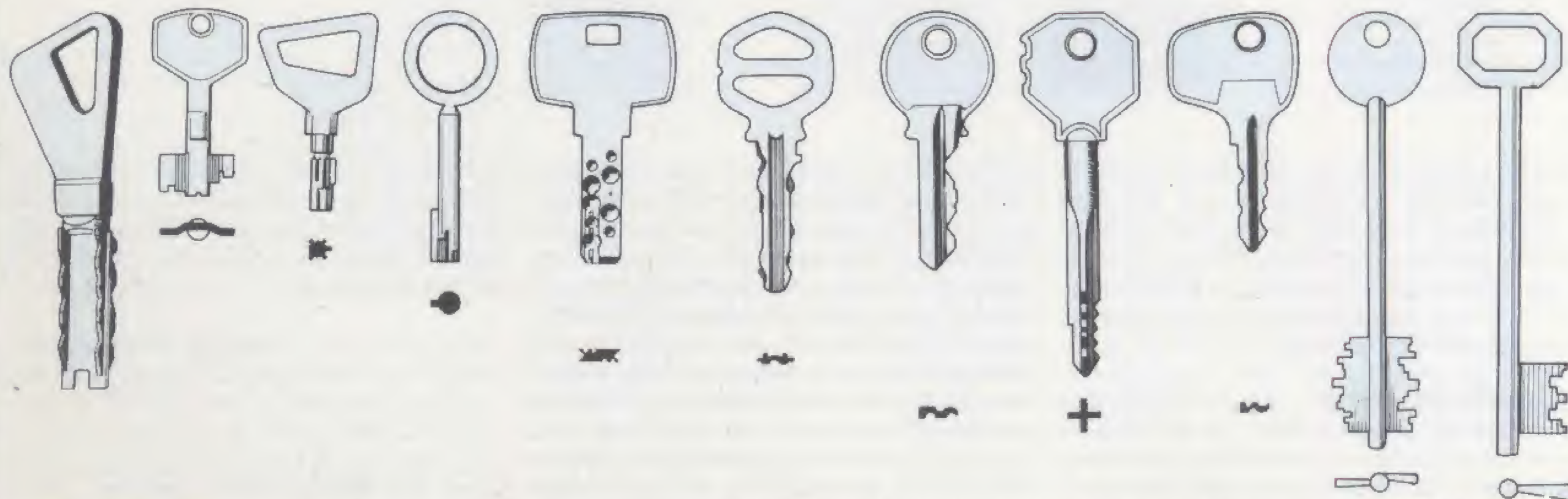
5. **Defensa**, corte sobre la parte plana del paletón que sirve de guía para situarla de forma correcta en la cerradura.

Cómo se hacen las llaves Las llaves se hacen a mano, o con una máquina que está estudiada para realizar ese trabajo automáticamente a partir de un trozo en bruto o de trozos de metal no cortado, que corresponden a un tipo particular de cerradura. Para copiar una llave dada, el trozo de metal se sujeta fuertemente a la llave que se quiere copiar y después se lima el trozo para reproducir el borde dentado de la llave original. Las cerraduras tienen unos números de código que permiten al



Después de cortarla, la llave pasa a la máquina fresadora (arriba), donde se realizan los canales que constituyen el

primer examen de acoplamiento con la cerradura. Abajo, perfiles y secciones de los tipos de llave más comunes.





cerrajero la obtención de sus matrices respectivas a través de la fábrica o de otros cerrajeros. De esta manera se puede hacer una nueva llave sin tener la original, con sólo conocer su número de código.

Las cerraduras han evolucionado obviamente de forma paralela a las llaves. Entre los tipos más utilizados hoy día se encuentran la *cerradura Yale*, ideada en 1848 por Linus Yales, siendo un tipo cilíndrico de cerradura de espiga-fiador. Otro también muy extendido es el de *cerradura de combinación*. Ya en los años setenta de nuestro siglo, se ha introducido la *cerradura electrónica*, que es de momento el sistema más evolucionado.

Llave maestra Una llave maestra está hecha en tal disposición que abre y cierra todas las cerraduras de una casa. Por ejemplo: en un hotel, la llave del huésped abrirá solamente su habitación, pero la camarera probablemente tendrá una llave maestra parcial que podrá abrir un cierto número de habitaciones a las que tiene que atender; por el contrario, los fontaneros y los electricistas dispondrán de una llave maestra para todas las habitaciones. Además, el director del hotel suele poseer una llave maestra especialmente hecha para poder abrir todas las habitaciones del hotel, ya estén cerradas por dentro o por fuera.

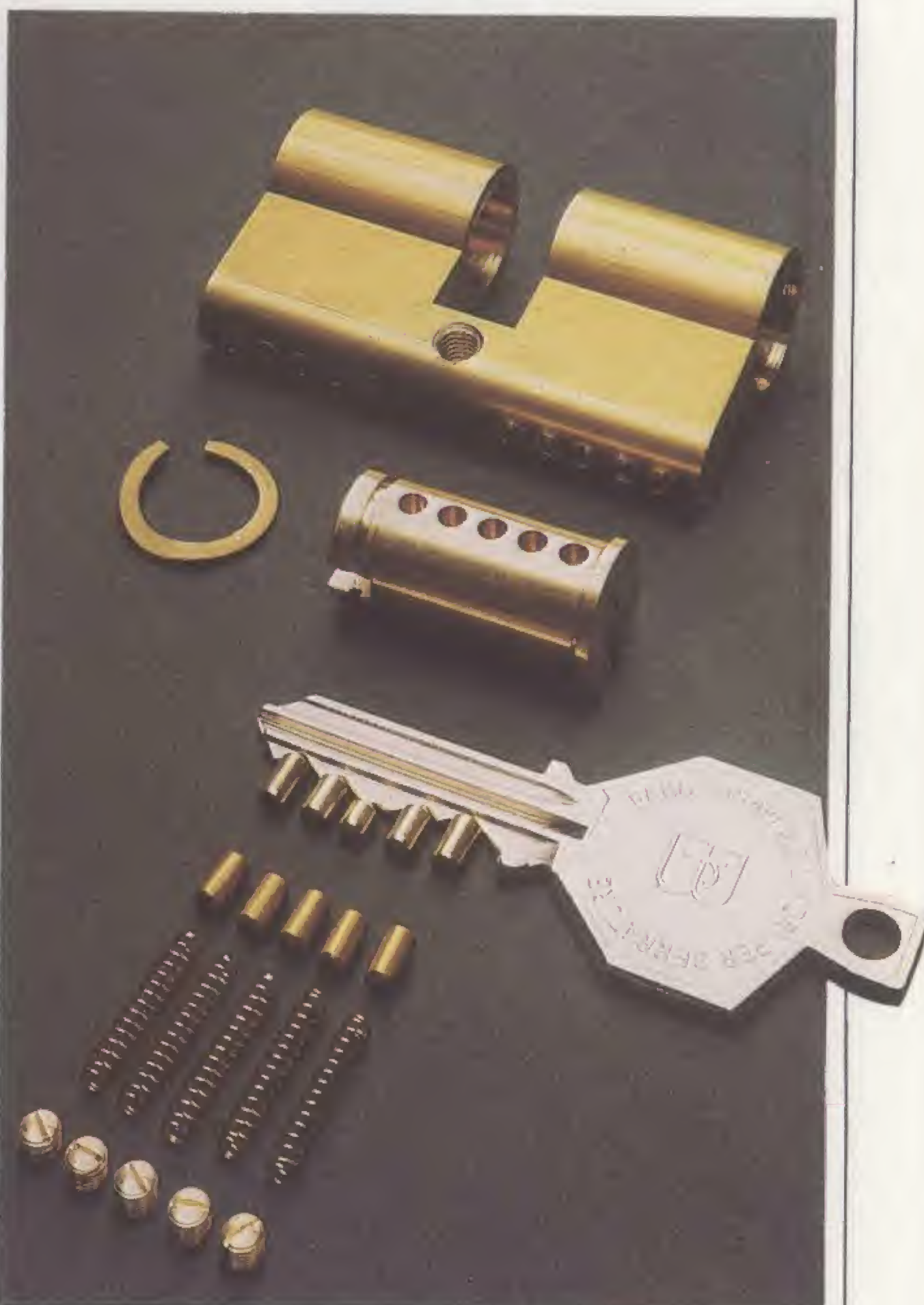
Véase **Caja fuerte y cerraduras**

A la derecha de estas líneas, una cerradura (desmontada) para llave plana: la parte superior es la que empotra en la puerta; en la parte tubular perforada se insertan los cilindros perforados, llamados *tambores*. En ellos se introduce la llave que, con su borde dentado, tendrá que empujar los pequeños rodets metálicos contra los muelles y llevarlos hasta el nivel de la superficie exterior del tambor, permitiendo a este último girar dentro de su cápsula. La llave del centro muestra cómo actúan los dientes sobre los rodets.

Beccarini-Milán



En la foto de la izquierda, llaves planas en diferentes fases de fabricación, desde el cizallado hasta la llave acabada. La última operación es el niquelado, que confiere al metal una mayor dureza. Junto a estas líneas, llaves en espera de entrar en la máquina que tallará el borde dentado. De todas las fases de producción, la de tallar el borde dentado es la más difícil de automatizar porque en la fabricación de muchas llaves cada una se tiene que acoplar a la distinta longitud de los rodets del cilindro de la cerradura. Cada cerradura tiene que tener su llave o, como mucho, dos o tres iguales entre sí, pero de una cerradura a otra el borde dentado varía, con lo que la producción resulta necesariamente discontinua y lenta aunque automática.

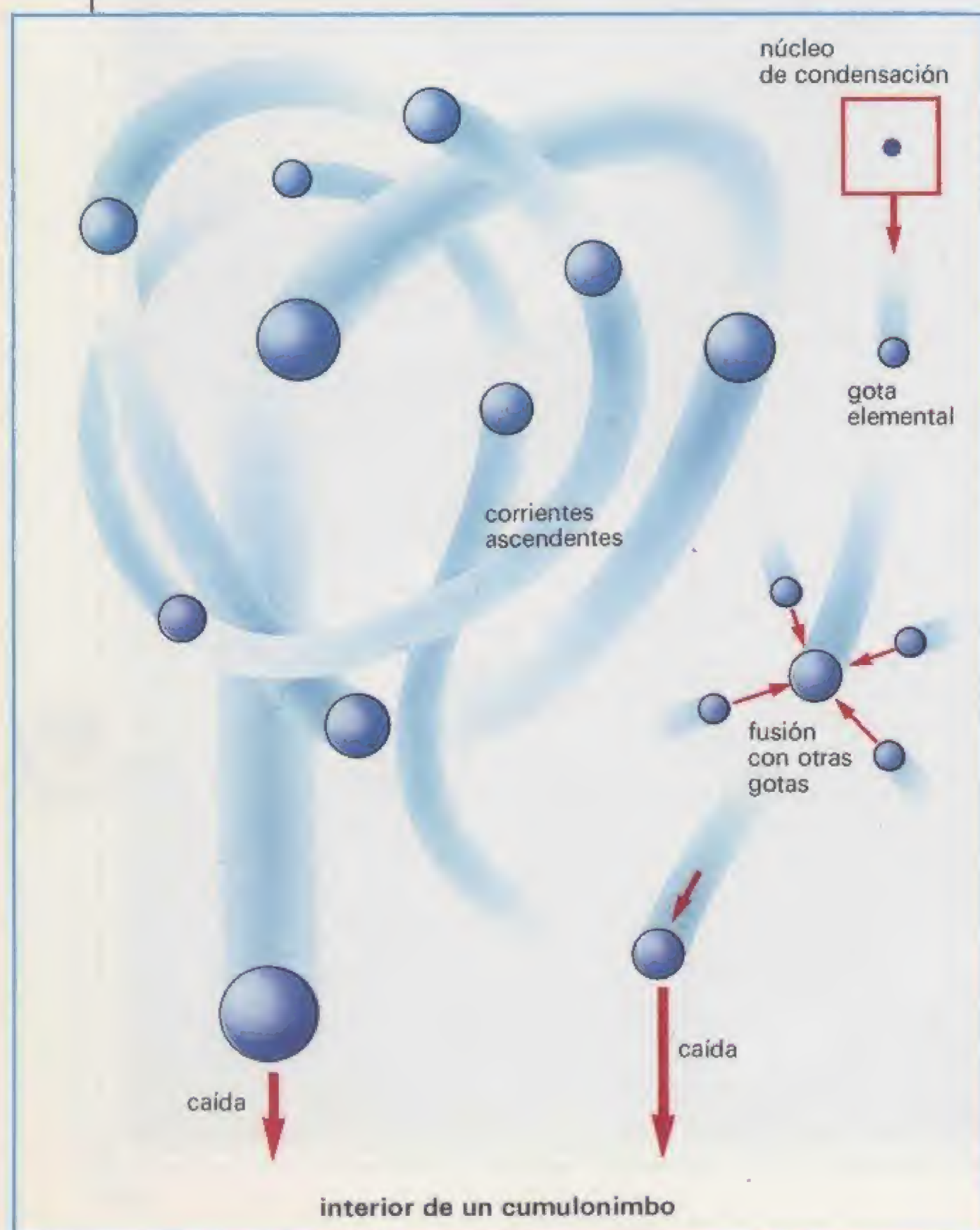
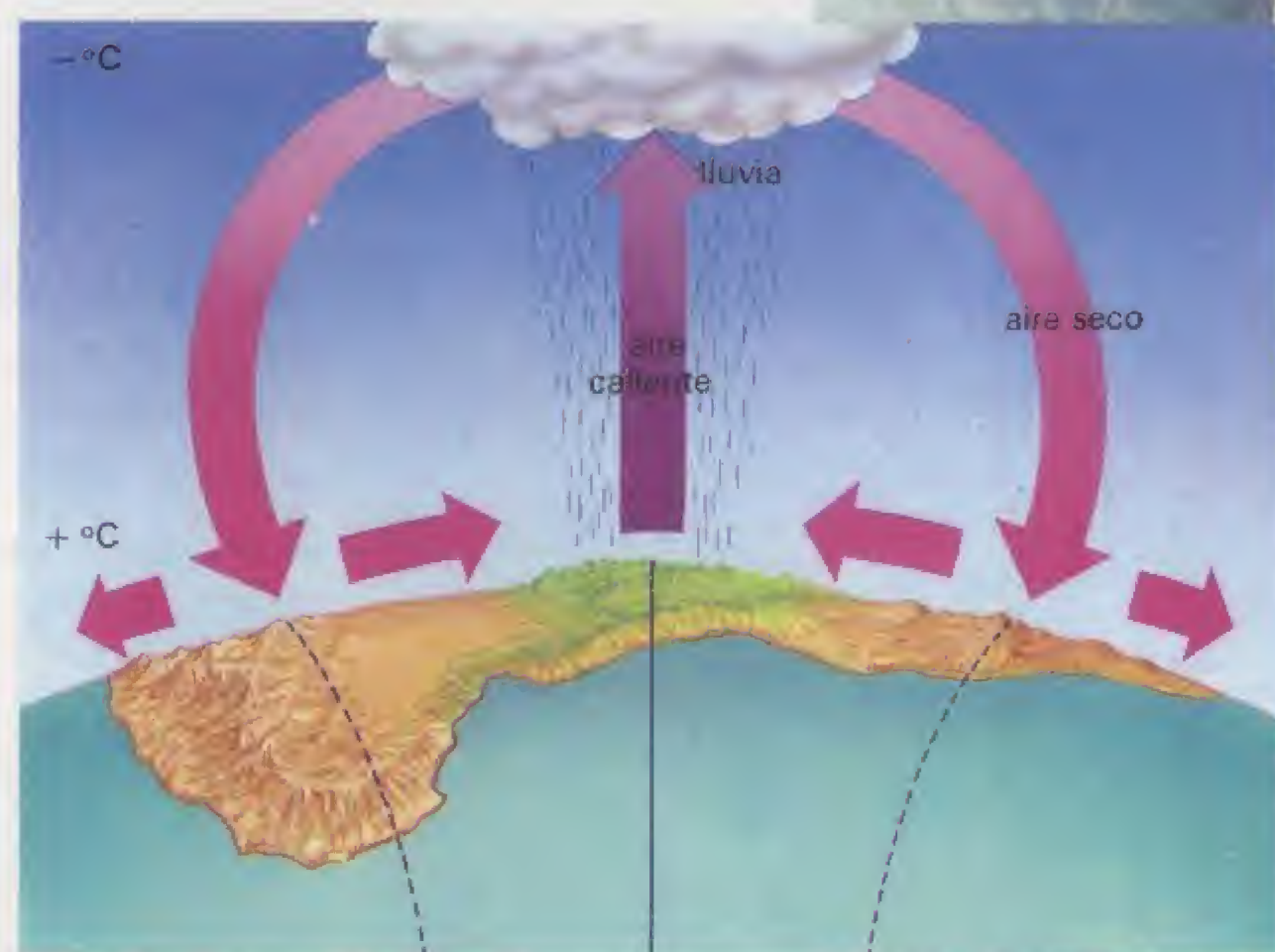
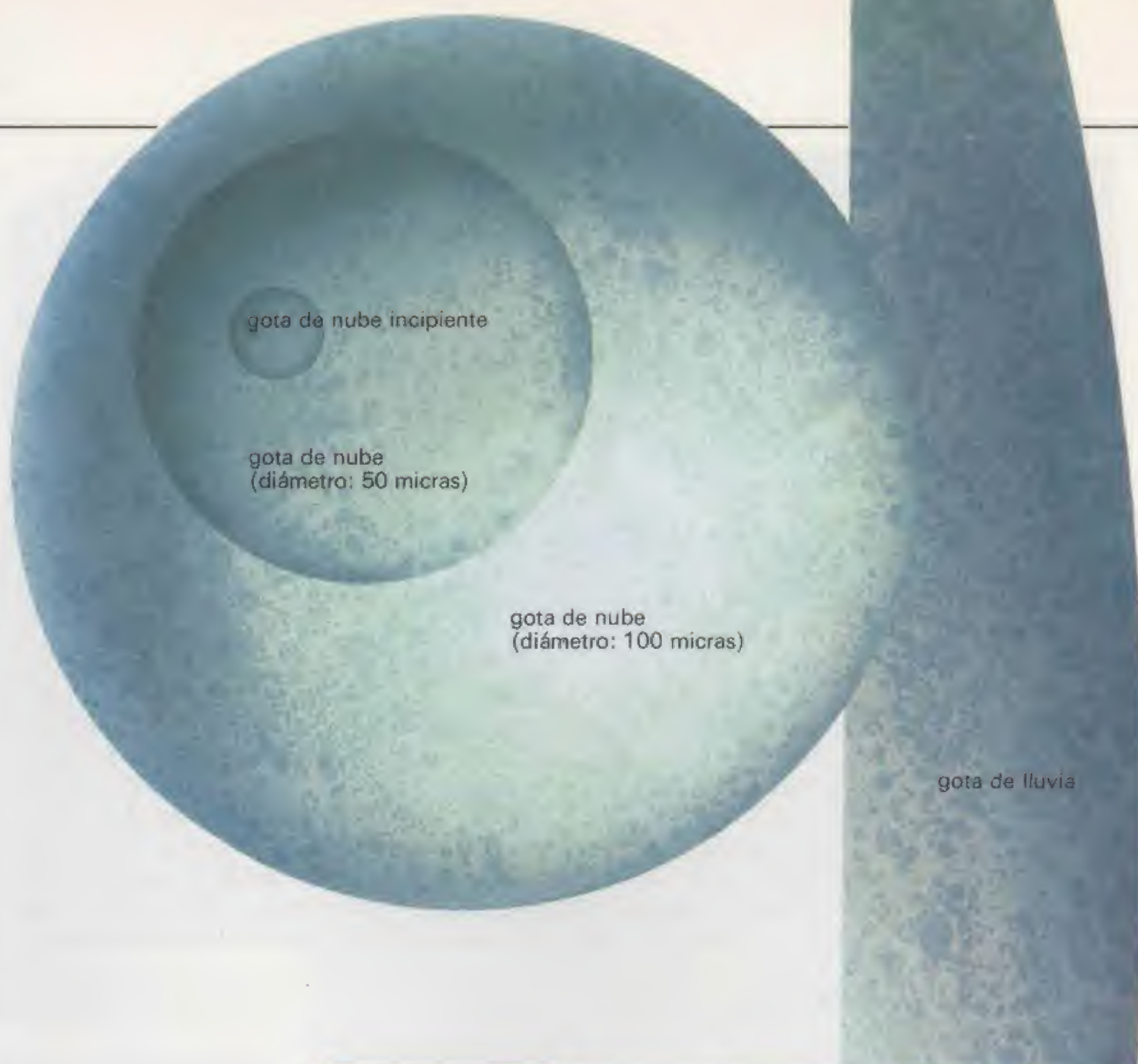


Lluvia

Quizá el fenómeno meteorológico que mayor trascendencia tiene para la existencia de la vida en nuestro planeta sea la precipitación en forma de lluvia, principal fuente para el suministro de agua en los continentes.

Su origen está ligado a una serie de procesos físicos encuadrados dentro de lo que se conoce como el *ciclo del agua*: la radiación solar produce *evaporación* sobre mares y océanos, cargando de humedad el aire, que es transportada por el viento; cuando el aire se enfría, se produce la *condensación*, acumulándose las moléculas de vapor de agua en gotitas extremadamente pequeñas que forman las nubes. Esas gotitas se agrupan —en número cercano al millón— para formar una gota de lluvia, que desciende hasta alcanzar la superficie de los continentes e islas y el mar, cerrando así el ciclo.

Procesos de precipitación Dos son los mecanismos principales que originan la precipitación: *el proceso de captura*, característico de las zonas tropicales, en el que gotitas de agua impulsadas por las fuertes corrientes ascendentes colisionan y capturan otras similares. De esta manera se van formando gotas cada vez mayores que, al aumentar su masa, descienden hasta que al alcanzar un tamaño crítico —aproximadamente 5 mm de diámetro— se fraccionan en varias gotas más pequeñas, capaces a su vez de capturar nuevas gotitas, lo que hace que el proceso se multiplique extendiéndose rápidamente a



A la izquierda, representación de cómo las fuertes corrientes ascendentes y descendentes que existen en el interior de un cumulonimbo hacen que las pequeñas gotas formadas en torno a un núcleo de condensación aumenten su tamaño por un proceso de captura. Cuando alcanzan un cierto peso, descienden en forma de fuertes chaparrones. Arriba están representadas las distintas fases de una gota de agua. Los núcleos de

condensación son partículas sólidas existentes en el aire sobre los que se produce la condensación del vapor de agua. Una gota de una nube tiene un diámetro de 10 micras, aunque puede llegar a medir hasta 50, siendo necesarias cerca de un millón para formar una nube de lluvia como la de la ilustración de la página siguiente. En el esquema sobre estas líneas se explica la mecánica de formación de la lluvia en las zonas ecuatoriales y de los desiertos subtropicales: el aire,

que se ha calentado en la proximidad del suelo en la zona ecuatorial, se eleva dando así lugar a una zona de baja presión. En los estratos superiores de la atmósfera, mucho más fríos, la humedad que transporta el aire caliente se condensa, dando lugar a la formación de nubes y de la lluvia. La masa de aire, ya sin humedad, desciende por las vertientes exteriores, calentándose y llegando a la superficie ya muy seca, por tanto, e incapaz de generar lluvia en latitudes subtropicales.

toda la nube. Para que se produzca lluvia por este proceso de captura, es necesario que la nube tenga un gran desarrollo vertical y que existan fuertes corrientes ascendentes de aire para transportar las pequeñas gotas, que aumentan de tamaño captando otras en su movimiento, hasta que finalmente caen cuando su peso supera el empuje del aire. Estas características se dan en las nubes tropicales y de tormenta, cuyo origen es un extraordinario calentamiento del suelo.

En latitudes templadas, la lluvia, por lo general, tiene su origen en el *proceso del cristal de hielo* y está asociado a la existencia de frentes o superficies de separación entre masas de aire de distintas temperatura y humedad. La diferencia de densidad entre dichas masas hace que se produzcan ascendencias del aire en la zona próxima al frente, dando lugar a expansiones del aire a causa de la disminución de presión y a un enfriamiento, formándose las nubes, usualmente a una temperatura ya tan baja (cerca de -20°C) que directamente el vapor se sublima en pequeños cristales de hielo que van aumentando de tamaño rápidamente. Alcanzado un cierto tamaño, caen en forma de nieve, nieve granulada o granizo. Si durante el descenso atraviesan capas de aire caliente sobrepasan el punto de fusión, se derriten formando gotas de agua y llegan al suelo en forma de lluvia.

Las precipitaciones generadas por este mecanismo de formación son más uniformes, pero también menos intensas que las producidas en las células de tormenta.

En las regiones montañosas existen formaciones de nubes generadas por un efecto puramente orográfico. Cuando una masa de aire alcanza la ladera de una cadena montañosa, es forzada a ascender violentamente, enfriándose y condensándose el vapor de agua que lleva en su seno. Por esta razón no es raro ver cúmulos sobre las montañas incluso en días buenos de gran estabilidad.

Tipos de lluvia El tipo de gotas que genera cada masa nubosa permite la clasificación de las precipitaciones en lluvia y llovizna atendiendo generalmente al tamaño de las gotas: las de lluvia son más grandes, oscilando su diámetro entre 0,5 y 5 mm, mientras que las de llovizna suelen conservar las pequeñas dimensiones que tenían en las densas nubes estratificadas donde se formaron. Estas últimas son, por lo general, más esféricas, a diferencia de las de lluvia, que presentan una tendencia a achatare a medida que su tamaño se hace mayor. También la velocidad de caída es diferente; así, mientras que las gotas de llovizna raramente sobrepasan los dos metros por segundo, las de lluvia pueden alcanzar los ocho metros por segundo.

Distribución de las lluvias sobre el globo Como ocurre con la mayor parte de los fenómenos meteorológicos, la distribución de lluvia sobre la superficie de la Tierra es muy irregular e incluso en re-

giones no muy separadas geográficamente pueden existir grandes variaciones pluviométricas debido a factores no meteorológicos, como la orografía del terreno, los tipos de cultivo, la proximidad del mar, etcétera.

En términos generales, sin embargo, puede hablarse de regiones más o menos lluviosas y de regiones secas. Europa, sometida durante todo el año a vientos húmedos del oeste con frecuentes pasos de frentes, pertenece al primer grupo. Sus precipitaciones uniformes y poco intensas se reparten durante un gran número de días al año. Tal es el caso de Londres, con una media anual de 164 días de tiempo lluvioso. Con todo, no es la ciudad europea donde más llueve, ya que París, Berlín y Moscú alcanzan medias superiores. El índice de pluviosidad media en Europa, en la fachada atlántica de América y en África Central, supera los 510 litros/ m^2 , mientras que muchas regiones de Asia nororiental se encuentran muy por debajo de este nivel de precipitación. Australia, África septentrional y suroccidental, el sur de Argentina, China noroccidental y el cen-

tro y la parte meridional de la Unión Soviética presentan una media anual inferior a los 250 litros/ m^2 . Las zonas caracterizadas por intensas lluvias corresponden a las regiones costeras de India y Birmania, así como a zonas montañosas de América del Norte y Sudamérica, muy azotadas por el viento. En efecto, la pluviosidad es siempre mayor en las vertientes costeras expuestas al viento, sobre todo en zonas donde las aguas son templadas y facilitan la formación de temporales. En España, aunque el máximo de precipitación anual se localiza en Grazalema, en la provincia de Cádiz, por efectos fundamentalmente orográficos, es en la cornisa cantábrica y Galicia, sometidas a la influencia de frentes atlánticos, donde se miden los valores más altos de precipitación a lo largo del año. Por el contrario, la provincia de Almería es la más seca del país.

Véase **Agua, ciclo del; Ciclón tropical; Clima; Condensación; Meteorología, predicción; Niebla; Nieve; Nube y atlas de nubes**

El dibujo bajo estas líneas muestra un corte imaginario de un cumulonimbo, con su

característica forma de yunque. Los cristales de hielo que se forman debido a las bajas

temperaturas de la parte alta de la nube tienden a caer. En su caída se funden,

aumentando su tamaño a costa de la captura de otras gotas.



Lluvia radiactiva

Una explosión nuclear de una bomba o de la cabeza de un misil es una de las amenazas que caracteriza a nuestra era. Las armas nucleares tienen un enorme potencial destructor al poder generar reacciones capaces de producir temperaturas superiores a un millón de grados y destruir ciudades enteras, como se pudo comprobar en Hiroshima y Nagasaki (Japón) en 1945. Con independencia de los efectos térmicos y mecánicos de las bombas nucleares, comunes a otros tipos de bombas, una de sus características peculiares es la de la producción de isótopos radiactivos, lo que añade como nuevo efecto a considerar el de las consecuencias de la dispersión de la radiactividad.

La explosión inicial consiste en una reacción nuclear de fisión en cadena instantánea e incontrolada, que comienza en la cámara de detonación de la bomba. Para producir esta reacción son necesarios materiales fisibles altamente enriquecidos. Al producirse la explosión, se libera —con ella— la cantidad de radiactividad originada como consecuencia de la escisión de los átomos en el proceso de la fisión, la cual se difunde a través del ambiente.

Los productos de la reacción son lanzados primeramente hacia arriba, constituyendo la conocida nube en forma de hongo. Posteriormente, todo este material contaminado puede moverse sobre la superficie de la Tierra durante bastantes kilómetros por efectos del viento. Finalmente, desechos radiactivos vuelven a caer al suelo, constituyendo la llamada *lluvia o precipitación radiactiva (fallout)*.

Tipos de lluvia radiactiva En el caso de una explosión nuclear, existen normalmente tres tipos de lluvia radiactiva: *local*, *troposférica* y *estratosférica*.

La lluvia radiactiva local se debe a la caída de las partículas más pesadas en las cercanías del lugar de la explosión.

La troposfera es la zona de la atmósfera que se extiende desde la superficie terrestre hasta una altura variable entre 8 y 21 kilómetros. Las pequeñas partículas radiactivas pueden elevarse hasta esa altura, donde los vientos dominantes las pueden arrastrar a lo largo de muchos miles de kilómetros antes de volver a caer.

Este tipo de lluvia radiactiva abarca un área mucho mayor que la local y puede afectar a poblaciones muy distantes del lugar de la explosión. La lluvia radiactiva troposférica puede manifestarse hasta incluso varios meses después del momento de la explosión.

La estratosfera es la zona de la atmósfera situada inmediatamente encima de la troposfera y tiene una extensión media de 16 a 64 kilómetros sobre la superficie de la Tierra. Las partículas radiactivas que llegan a esta zona pueden permanecer un año o más en órbita alrededor de la Tierra, y precipitar cuando se den las condiciones meteorológicas apropiadas. En general, las lluvias y nevadas favorecen la precipitación radiactiva.

Isótopos con período de desintegración largo La vida radiactiva de los isótopos producidos en la fisión del átomo no es la misma para todos ellos. Así, los isótopos más característicos de las precipitaciones troposférica y estratosférica —más retardadas y más repartidas que las locales— son aquellos cuya vida media es de duración intermedia o larga.

Entre los isótopos de vida larga cabe destacar el cesio-137, con un período de desintegración de 30 años, y el estroncio-90, cuyo período de desintegración es

La utilización de la energía nuclear se ha convertido en el símbolo de la civilización humana actual, ya que permite un alto grado de desarrollo tecnológico, aunque también constituye una

importante amenaza de destrucción en sus aplicaciones no pacíficas. Los efectos de las armas atómicas pueden dejarse notar incluso años después de producirse la explosión. La conciencia de la

de 28,5 años (lo que significa que al término de 30 y 28,5 años, respectivamente, su radiactividad inicial se habrá reducido a la mitad).

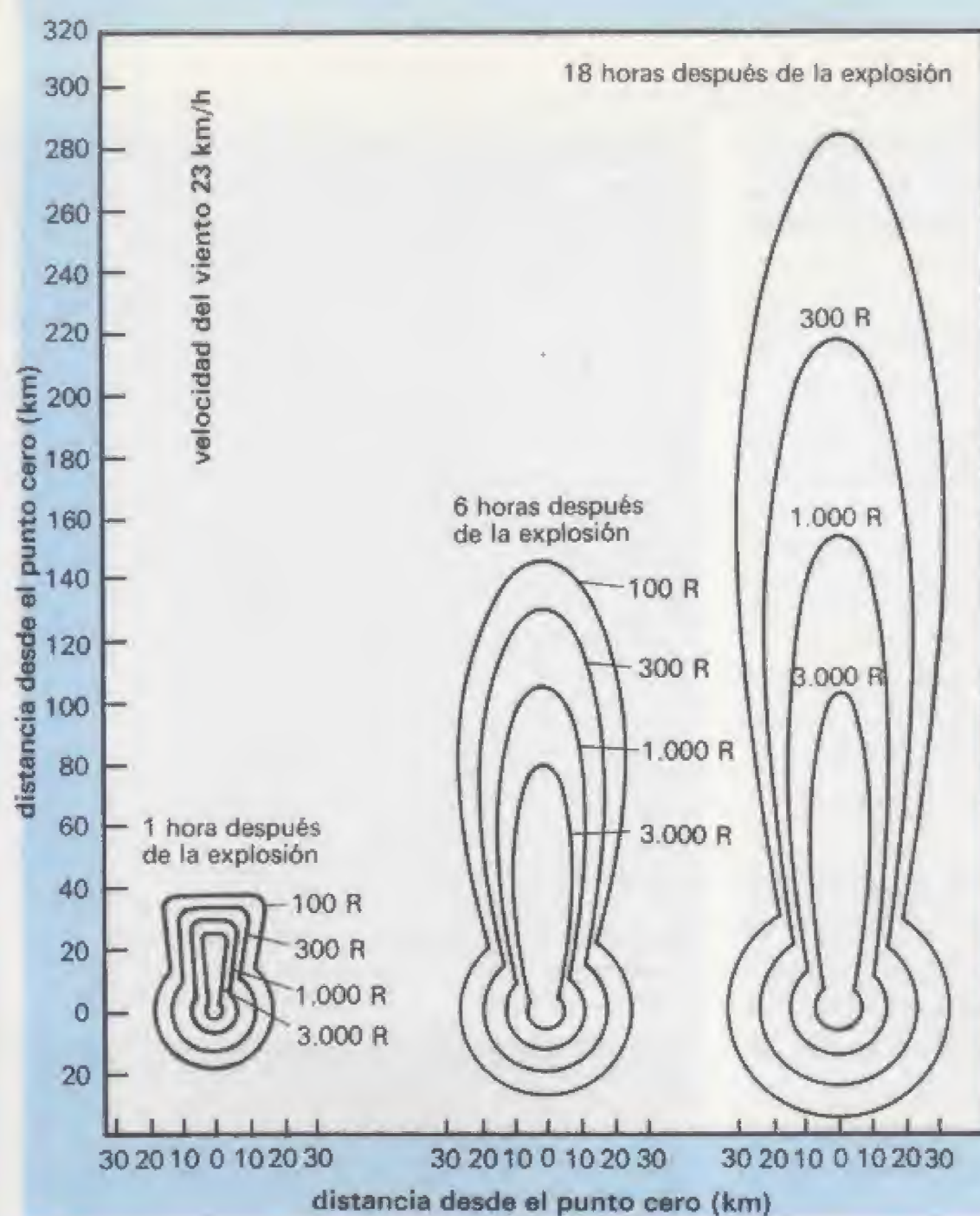
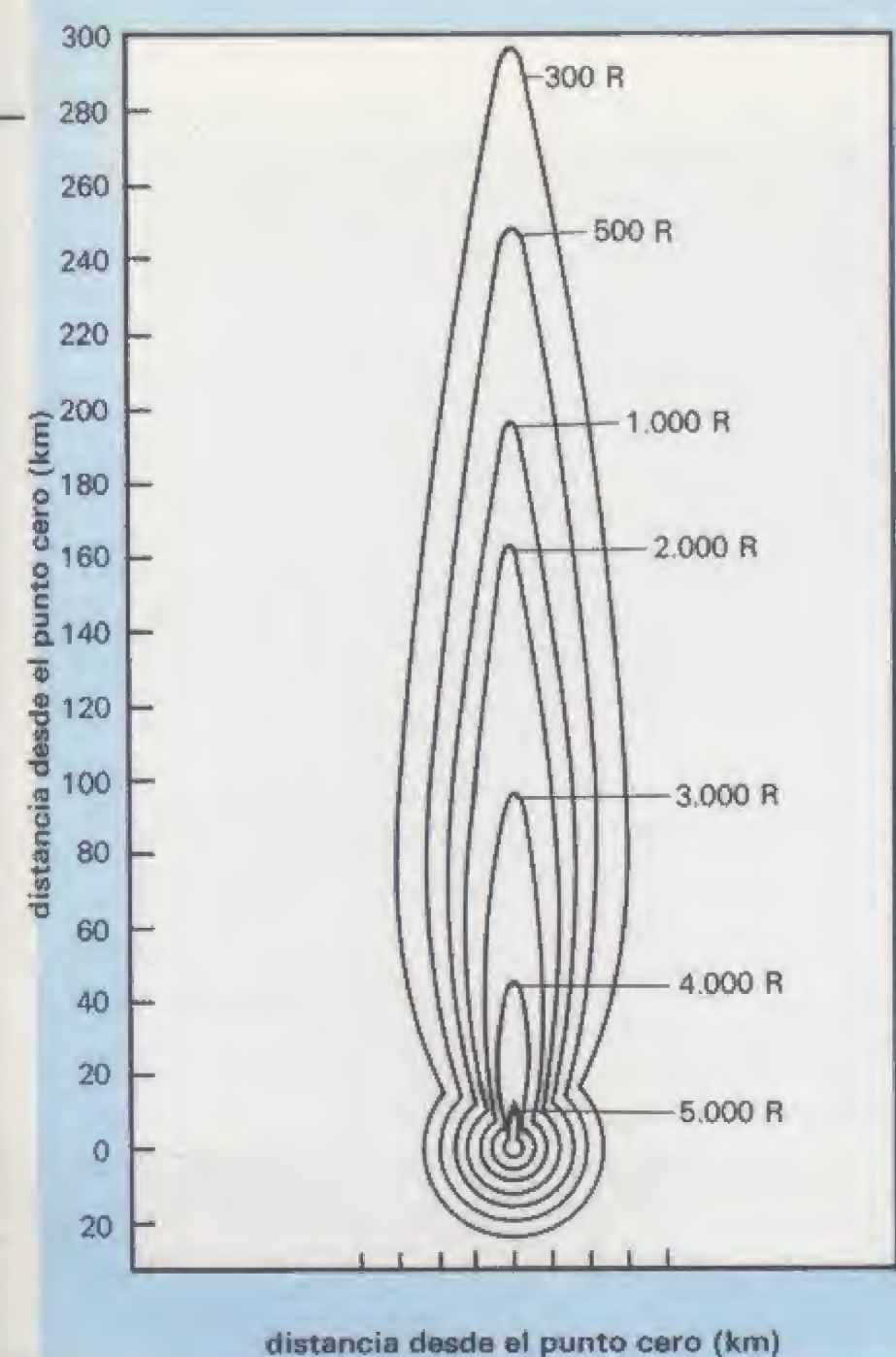
En las explosiones termonucleares (fisión-fusión), se produce además cierta cantidad de tritio —un isótopo radiactivo del hidrógeno— cuyo período de desintegración es de 12,3 años.

La nocividad radiológica de estas sustancias una vez incorporadas en el organismo depende de su naturaleza y de su proceso biológico en el mismo. De las tres

acumulación de estos riesgos es precisamente la que ha llevado a la firma de dos importantes convenios, uno en 1963 para limitar los experimentos, y otro en 1968 para la no proliferación de armas

nucleares. Aunque sean muy limitados, estos tratados o compromisos internacionales han conseguido reducir de forma considerable la amenaza de contaminación radiactiva.





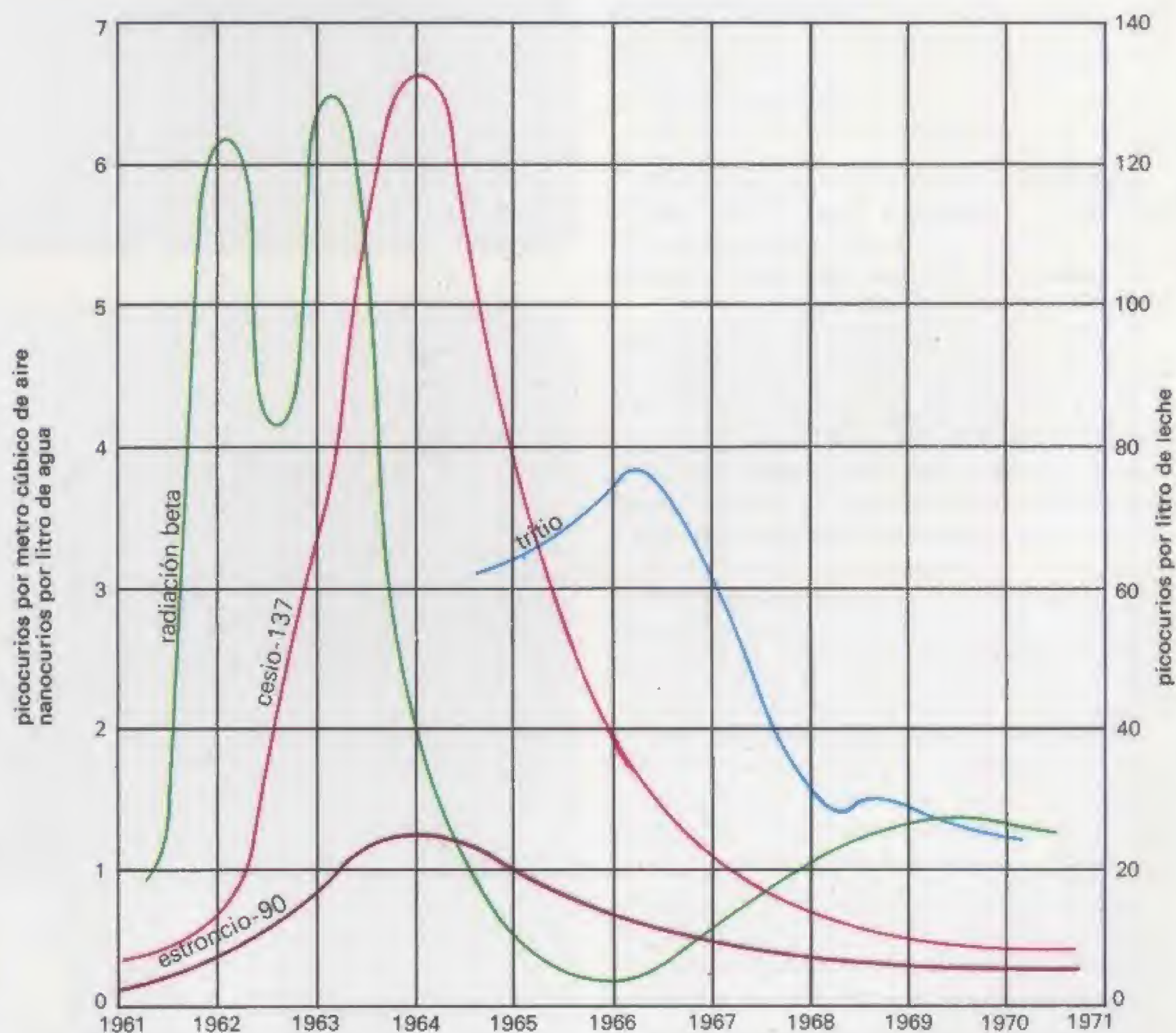
La caída de partículas está relacionada con su tamaño: en el caso de una explosión nuclear de superficie (sobre el suelo), se produce el desplazamiento, junto con el hongo atómico, de grandes masas de tierra que, posteriormente, sirven de núcleos de condensación y precipitan. El esquema junto a estas líneas representa la lluvia radiactiva local después de la explosión superficial de una bomba atómica con una potencia de varios megatones. A su izquierda, líneas de igual exposición radiológica —en roentgen (R)— para radiaciones que emiten las precipitaciones radiactivas durante las 36 horas sucesivas a una explosión termonuclear efectuada en el atolón de Bikini.

sustancias citadas, la de mayor radiotoxicidad es el estroncio-90, que actúa químicamente de forma similar al calcio, depositándose principalmente en los huesos.

Consecuencias radiológicas de la lluvia radiactiva La lluvia radiactiva dispersada en el ambiente puede incorporarse al organismo directamente por inhalación, o a través de otros caminos indirectos que comienzan por el depósito de la contaminación sobre el suelo para pasar posteriormente al ciclo alimenticio a través del agua y productos vegetales y animales, como, por ejemplo, la leche.

Los efectos biológicos de la radiactividad, a partir de ciertos niveles significativos, se manifiestan por náuseas, trastornos gastrointestinales, depilación, hemorragias y muerte en caso de dosis extremadamente altas. A dosis inferiores pueden aparecer otros efectos más diferidos en el tiempo, como cáncer de piel, leucemia y mutaciones genéticas.

En el caso de las explosiones nucleares, la probabilidad de aparición de estos efectos va asociada en la práctica, fundamentalmente, a la precipitación local, sobre todo a distancias de la explosión a las que la concentración de radiactividad todavía es alta. El resto de la precipitación radiactiva, que se dispersa en áreas de una gran extensión e incluso por toda la superficie del planeta, queda diluido a concentraciones inferiores, constituyendo el llamado *fondo radiactivo de aportación*. Según actuales estimaciones, la lluvia radiactiva de las pruebas nucleares llevadas a cabo hasta el momento en el planeta contribuye a la exposición de la humanidad a las radiaciones ionizantes en un 0,4% de la exposición radiológica total, tomando en consideración tanto las fuentes de radiactividad natural (78%) como las actividades artificiales (22%).



La conciencia de la acumulación de estos riesgos sobre la Tierra ha llevado a la realización de pruebas nucleares de tipo subterráneo y finalmente a la práctica suspensión de explosiones nucleares en los últimos años, suspensión que debería llegar a ser absolutamente total si se quiere garantizar el mantenimiento de la vida en nuestro planeta.

Véase **Armas nucleares; Bomba atómica; Radiactividad**

El problema de la prohibición de todos los experimentos nucleares y termonucleares tiene una importancia fundamental para la salud de todas las poblaciones de la Tierra, ya que cada experimento nuclear en la atmósfera produce un incremento de la radiactividad del planeta. El esquema

de arriba muestra cómo ha disminuido la lluvia radiactiva desde que Estados Unidos y la Unión Soviética han decidido restringir sus experimentos a los subterráneos. Las curvas muestran la radiación beta en el aire, el contenido de tritio en el agua y el contenido de estroncio-90 y de cesio-137 en la leche.

Macho

A nivel genético, los machos presentan una serie de características diferenciales, que constituyen las determinantes de su sexo.

Desde hace muchos años se sabe que la mayoría de las especies animales y de las vegetales se reproducen sexualmente mediante la unión de células especializadas llamadas *gametos* (los óvulos o huevos, producidos por la hembra, y los espermatozoides, producidos por el macho).

Los gametos tienen la mitad del patrimonio genético que se precisa para construir una célula completa. Cuando un gameto de un progenitor se une con el del otro, se forma una sola nueva célula —*cigoto*— que es la base de un nuevo individuo.

En la mayoría de los casos, la situación del macho es de *heterocigosis* —procede de un cigoto formado por la unión de dos gametos que difieren en su constitución genética—, que se representa con las letras XY.

Animales macho La diferencia entre un macho y una hembra de una especie determinada puede ser muy pequeña. Así, hay ciertos tipos de protozoos —que se reproducen sexualmente— para los que se necesita una atenta observación al microscopio si se quiere distinguir entre el macho y la hembra.

La mayor parte de los aficionados a la jardinería es incapaz de distinguir entre los árboles de acebo macho y los hembras hasta que éste se llena súbitamente de bayas rojas y brillantes.

El papel de los machos en el reino Animal es, a menudo, menos importante que el de las hembras en lo que se refiere a la supervivencia de la especie.

Muy pocas veces los machos tienen el papel de educadores de la prole, si bien hay especies en las que asumen casi completamente esta tarea.

En muchas especies de insectos, arácnidos y peces se pone ciertamente en evidencia la menor importancia del macho, que disminuye después del apareamiento.

Entre las aves, es frecuente que los machos colaboren en la búsqueda de alimento para las crías y monten guardia en el nido, que a menudo ha sido construido por ellos.

Los primates "sociales", como los babuinos y los gorilas, viven en pequeñas manadas capitaneadas por grandes machos, que protegen a las hembras y a los pequeños contra los peligros naturales y frente a otros machos. Lo mismo ocurre en el caso de los leones, si bien las hembras, a pesar de ser más pequeñas, cargan con el mayor peso en la caza y con el cuidado de los cachorros.

En muchos animales superiores el macho tiene el papel de atraer a la hembra por medio de comportamientos peculiares o mostrando atributos físicos especialmente significativos, como por ejemplo las plumas vistosas y coloreadas de muchas aves macho, con el fin de llevar a cabo el apareamiento.



Las diferencias de forma y color entre macho y hembra en el reino Animal pueden ser notablemente vistosas, como en el caso del pavo real, dotado de espléndidas plumas caudales. Por lo general, los machos son mucho más "bellos" que las hembras. Los biólogos han relacionado esta importante diferencia con la teoría de la selección natural. Las hembras son miméticas para proteger mejor a la prole, mientras que los

machos son vistosos para atraerlas. En cualquier caso, la enorme y policroma cola del pavo real o el rojo pecho del petirrojo no son sino formas visuales de comunicación, intraespecíficas o interespecíficas. Pero también se emiten señales de otro tipo, como las auditivas del león marino u otaria; en esta especie, al llegar la época de la reproducción, el macho proclama sus derechos sobre un territorio con poderosos rugidos.

Seres humanos macho El papel masculino más complejo, sin duda, es el del ser humano macho, ya que está determinado tanto por factores biológicos como culturales.

Los hombres suelen ser algo más altos y fuertes que las mujeres, tienen los huesos más grandes y pesados, más pelo y menos tejido adiposo, y su pelvis es más estrecha que la de las hembras.

Los órganos reproductores del macho son los testículos, que producen el *esperma* (el líquido que contiene los espermatozoides) y la *testosterona*, principal hor-

mona masculina. Estos órganos especialmente delicados se hallan en el exterior del cuerpo, encerrados en una especie de saco cutáneo colgante, el *escroto*, donde se mantienen frescos, ya que los espermatozoides no pueden vivir mucho tiempo a la temperatura normal del cuerpo.

El esperma producido por los testículos se almacena en una especie de tubo finísimo y muy largo, el *epidídimo*, adosado al testículo dentro del escroto y unido a un delgado conducto, el *vaso deferente*. Este último desemboca en la *uretra*, cuya protección terminal discurre por el pene y constituye también el último tramo de los conductos urinarios.

Cuando tiene lugar la eyaculación, el esperma es impulsado hacia el exterior a través de estos conductos, y se mezcla con los líquidos formados por las vesículas seminales (que conectan con los vasos deferentes) y por dos glándulas situadas cerca de la unión de los vasos deferentes con la uretra: la *próstata* y la *glándula de Cowper*. Durante el acto sexual, el esperma es introducido en la vagina de la hembra.

En la mayor parte de las sociedades humanas, tradicionalmente, el macho ha desempeñado los papeles más relevantes (funciones de gobierno, de liderazgo religioso, etc.), mientras que la mujer, físicamente distinta, económicamente dependiente y socialmente destinada a las labores domésticas, era considerada en teoría y en la práctica como inferior al hombre.



Los machos pueden ser vistosos, ya que una vez desempeñada su función reproductora se pueden sacrificar. En efecto, el papel del macho no siempre es de dominio: existen determinadas culturas en las que los machos tienen un papel secundario, mientras que las hembras son dominantes. El mito del macho que vive

en la Naturaleza como rey de la jungla, o del gran conquistador de hembras, se encuentra de forma típica en algunas producciones culturales y en ciertos comportamientos humanos. Es más, responde a las exigencias de ciertos sistemas de organización social basados en la competición.

Es a partir del sistema de producción industrial (sustitución de la energía física por la energía mecánica) y del paralelo y progresivo desarrollo científico (una de cuyas consecuencias ha sido el control de la natalidad) cuando la mujer adquiere la posibilidad de desarrollo en todos los campos de la actividad humana.

La inserción de la mujer en la nueva sociedad industrial es un hecho, y, dado que su papel en la sociedad está cambiando, también tendrá que ocurrir lo mismo con el de los hombres.

Véase **Animal**; **Evolución animal**; **Evolución humana**; **Hembra**; **Hombre**

La agresividad es generalmente masculina

Podemos definir el *comportamiento agresivo* como aquel mediante el cual un animal causa daño a otro, o bien intenta o amenaza con causarlo. El comportamiento agresivo es una consecuencia de la competencia que existe entre los animales por los diversos recursos del ambiente: comida, pareja sexual, espacio, etc.

En general, las luchas entre animales se parecen más a torneos formales, en los que se respetan ciertas normas, que a combates a muerte. Veamos cuáles son las normas que suelen seguir los animales en sus encuentros agresivos.

Antes de "romper las hostilidades", uno o ambos contendientes suelen presentar pautas de conducta amenazadoras, que con frecuencia son suficientes para que un contrincante se amilane y ponga tierra por medio. Muchas aves, como las urracas o los petirrojos, intimidan a sus congéneres blandiendo el pico en alto; los chimpancés erizan el pelo, mostrando así un tamaño mayor que el real, etc.

Cuando la lucha llega a realizarse, las pautas de conducta suelen ser rituales, constituyendo más una prueba de fuerza que un combate a muerte. Por ejemplo, las víboras se defienden de sus enemigos (mangostas, erizos) mordiendoles e inyectando así su veneno, pero en los combates entre ellas forcejean entrelazándose y nunca se muerden.

Finalmente, si el combate se realiza y uno de los dos contendientes tiene claramente las de perder, suelen aparecer en él pautas de conducta con un significado de clara sumisión, que inhiben la continuación de la lucha por parte del vencedor. Así, por ejemplo, los lobos al pelearse se muerden con fuerza, pero si uno de ellos se da por vencido, se acurruca como si fuera un individuo joven pidiendo comida, o se tiende sobre su espalda permaneciendo inmóvil; ante esta actitud, el vencedor ya no continúa el combate.



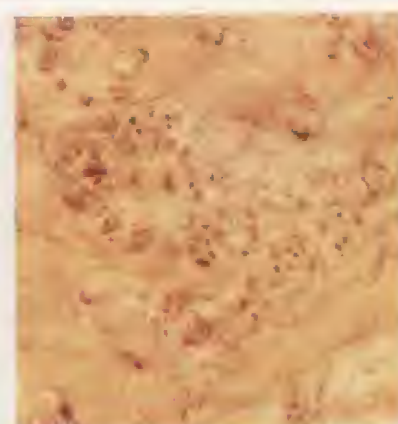
Madera

Aunque nuestra época sea conocida como la "era atómica", uno de los materiales más utilizados en la actualidad —al igual que lo fue en tiempos pasados— es la madera. La enorme cantidad de aplicaciones de la madera abarca la construcción de edificios, de postes telefónicos, de traviesas de ferrocarril, así como la fabricación de muebles, de papel, de material para embalaje, de fibras sintéticas, de instrumentos musicales y de productos químicos. La madera es también el combustible básico mundial. De hecho, se prevé que la utilización de madera como combustible, tanto en estado sólido como gaseoso, o en forma de carbón, aumentará un 50% en lo que queda de siglo.

Tipos de madera La madera es el tejido principal que constituye las raíces, el tronco y las ramas de los árboles. Además de su función mecánica como tejido de sostén y de almacenamiento de las sustancias nutritivas elaboradas por las hojas, a través de la madera se realiza el transporte del agua y de los elementos nutritivos desde las raíces a las hojas y a los ápices germinales. La estructura de la madera en las plantas dicotiledóneas y gimnospermas es distinta de la estructura de las monocotiledóneas. Estas poseen solamente madera primaria, que tiene su origen en los meristemos apicales de los brotes y de las raíces: de hecho, el crecimiento en grosor de estas plantas es muy limitado, predominando el crecimiento en longitud. En las dicotiledóneas y en las gimnospermas, la mayor parte de la madera tiene su origen a partir del crecimiento secundario, es decir, a partir de la actividad productora de una capa especializada de células llamada *cambium*, que está situada entre el *leño* y el *líber* o *floema*. Durante el crecimiento se forman nuevas células cambiales, que se dividen dando lugar a las células leñosas por la cara interna y a células floemáticas por la externa. Las sustancias producidas por la fotosíntesis en las hojas son distribuidas en forma de di-



abeto



arce (raíz)



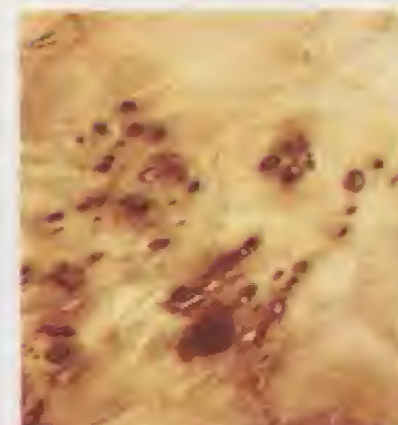
arce americano



caoba



palisandro



chopo (raíz)



pitch-pine



fresno (raíz)

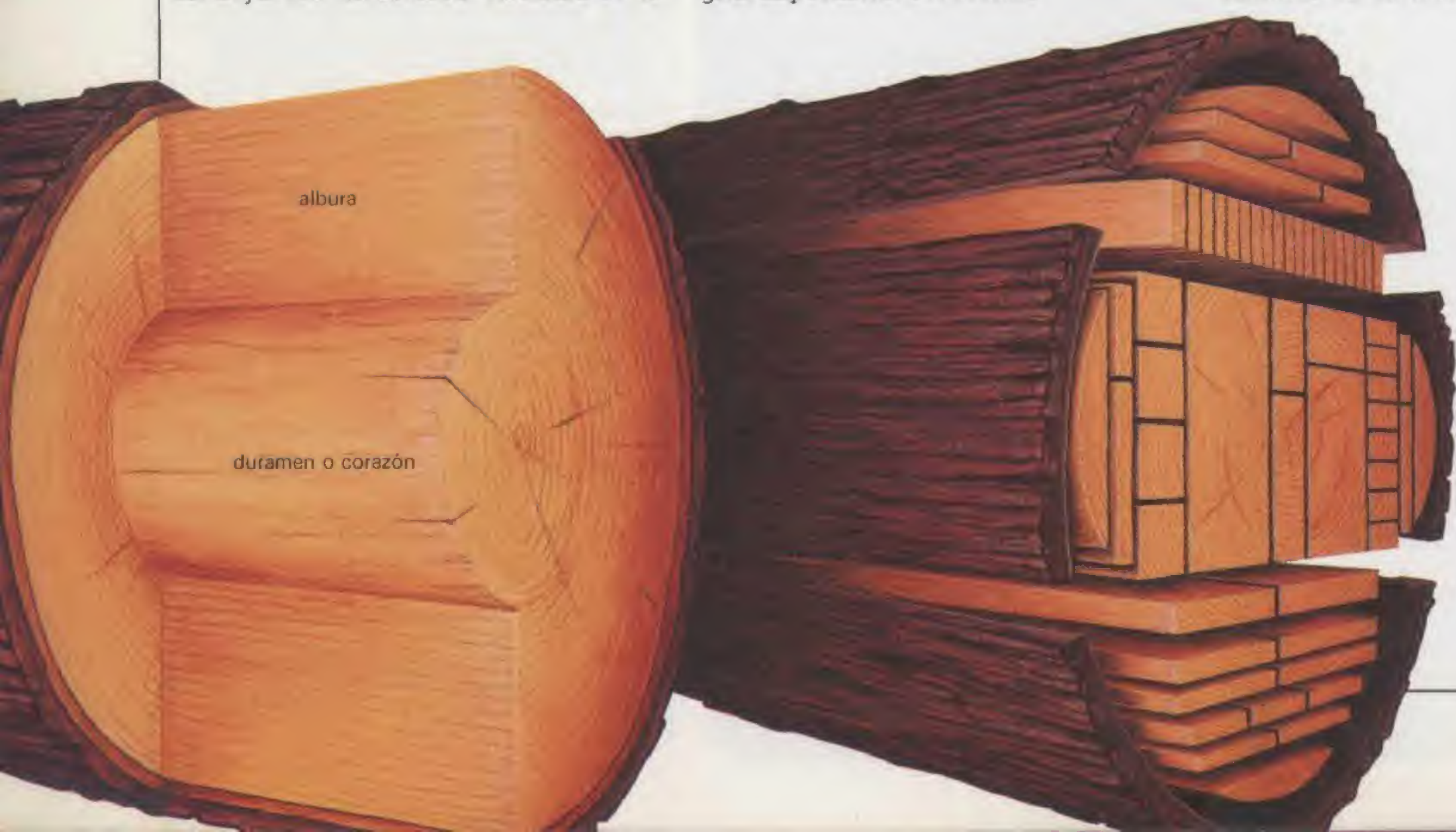
solución desde las hojas a las demás partes del árbol, a través del floema.

La actividad del cambium es periódica y está ligada a los cambios estacionales y a la disponibilidad de luz y de agua. Tras la fase de reposo invernal, en primavera se reanuda el crecimiento formándose células grandes con paredes delgadas (madera de primavera), mientras que durante el verano se forman células más pequeñas pero con paredes más gruesas (madera de verano).

La madera se puede clasificar en dos tipos: *madera blanda* y *madera dura* o *fuerte*. Esta clasificación no responde a criterios de dureza, densidad o resistencia de la madera, sino que ambos términos hacen referencia al origen botánico del árbol. Por lo general, los árboles de madera blanda pertenecen al grupo de las gimnospermas —plantas con semillas al descubierto—, mientras que las maderas duras proceden de árboles de hoja ancha, pertenecientes al grupo de las angiospermas. La madera blanda se obtiene fundamentalmente de las coníferas y, al ser fácilmente trabajable, su utilización es de gran importancia económica.

La producción mundial de madera dura es muy elevada, alcanzando los 1.400 millones de metros cúbicos al año, de los cuales el 70% es utilizado como combustible. El roble, la teca, la caoba y el nogal proporcionan maderas muy apreciadas, que son empleadas fundamentalmente en la fabricación de muebles y como material de construcción.

Técnica y utilización de la madera No existe nada como la madera para construir muebles y edificios; incluso el metal, los ladrillos y las estructuras de hormigón armado se valen de la madera para los encofrados, para los entarimados y para el acabado final de interiores. La madera es un material fuerte y a la vez elástico: los edificios de madera son generalmente los últimos en derrumbarse cuando se produce un terremoto. También en el caso de incendios, el humo de la madera es menos tóxico que el de los materiales cuya estructura básica es sintético-orgánica, como sucede con los materiales plásticos. La madera, al ser tratada con vapor, puede ser curvada o moldeada de diversas maneras. Es un buen aislante, agradable-



A la izquierda, un corte seccional del tronco de un árbol: en su zona central se aprecia el corazón o duramen, formado por células muertas, y, rodeándolo, la albura o xilema, que constituye la madera propiamente dicha, a través de la cual se extienden los vasos conductores de la linfa. La madera más apreciada corresponde a la parte del duramen. Sin embargo, también se puede obtener madera de muy buena calidad a partir de ciertas excrecencias que se deben a anomalías del cambium. Arriba, secciones de tipos de madera muy usuales, procedentes de árboles del mismo nombre.



nogal



olmo (raíz)



cerezo



abeto Douglas



alerce



roble



sándalo



teca

mente cálido al tacto, y admite una gran variedad de acabados. Si se trata correctamente, puede llegar a durar siglos.

La madera se clasifica según su aspecto y su resistencia. Los muebles y los marcos de ventanas y contraventanas son elaborados con maderas de la mejor calidad. La madera de calidad algo inferior se utiliza para trabajos de interior. Las piezas muy resistentes, aunque no necesariamente bonitas, se emplean como elementos estructurales.

La pieza de madera se corta generalmente según las medidas establecidas, pero después es cepillada, alisada y dejada secar al aire o en hornos especiales de secado, para ser curada de forma que luego no sufra deformaciones. Se habla de una madera curada cuando se ha sometido a secado y se ha llevado a un grado de humedad igual al del aire del medio ambiente.

De todos modos, la madera siempre sufre modificaciones con los cambios climáticos, dilatándose o contrayéndose con las variaciones de temperatura y humedad.

Conservación Las maderas de secueya, ciprés, cedro, robinia y castaño son, por naturaleza, resistentes a la descomposición. Otros tipos de madera deben ser conservados secos —o, por el contrario, completamente mojados— para evitar el ataque de hongos o termitas que dañan seriamente la madera humedecida por su continua exposición a los gases y vapores de la atmósfera. Para protegerla durante largos períodos, se impregna la madera o se pinta con preservantes químicos. La *creosota*, un producto químico destilado de la madera, se usa para impregnar postes y pilares y para alejar a los parásitos, como la carcoma, que perforan galerías en los andamiajes de los muelles portuarios y en las embarcaciones marinas. Después de haber sido impregnado de creosota, un poste, por ejemplo, puede tener una "vida" a la intemperie de hasta 25 años.

Propiedades químicas Algunos productos químicos derivados de la madera, como el alquitrán de pino, obtenido por la

destilación del carbón fósil de este árbol, y los aceites esenciales (alcanfor, bálsamo de Canadá, aceite de cedro, etc.), han estado en circulación durante miles de años, aunque los múltiples métodos empleados para extraerlos, tales como la gasificación, la pirólisis (calentamiento destructivo a distintas temperaturas) y la hidrólisis (calentamiento por la acción de un ácido), han sido ya superados por la industria moderna. En la actualidad se están poniendo en práctica métodos más sofisticados que permiten, sobre todo, extraer de la madera un mayor número de compuestos útiles. Sin embargo, los métodos tradicionales de sangrar, aunque dañinos para el árbol, siguen siendo utilizados para la obtención de ciertas sustancias; la goma arábiga que exudan las acacias enfermas, la trementina —utilizada para la fabricación de pinturas—, la colofonia, la pez y la brea son aún sangradas.

Hoy en día se ha intensificado enormemente la búsqueda de nuevas utilidades para la lignina, uno de los constituyentes esenciales de la madera. Industrialmente, la lignina es un subproducto de la industria de la pasta de celulosa para fabricar papel, y se emplea como material de relleno en la producción de laminados plásticos y como adhesivo en la fabricación de cartones. Los lignosulfatos se utilizan en el curtido, en la fabricación de cauchos artificiales y de cemento, y como materia prima de sustancias químicas orgánicas, como la vainilla, sustituto de la vainilla natural.

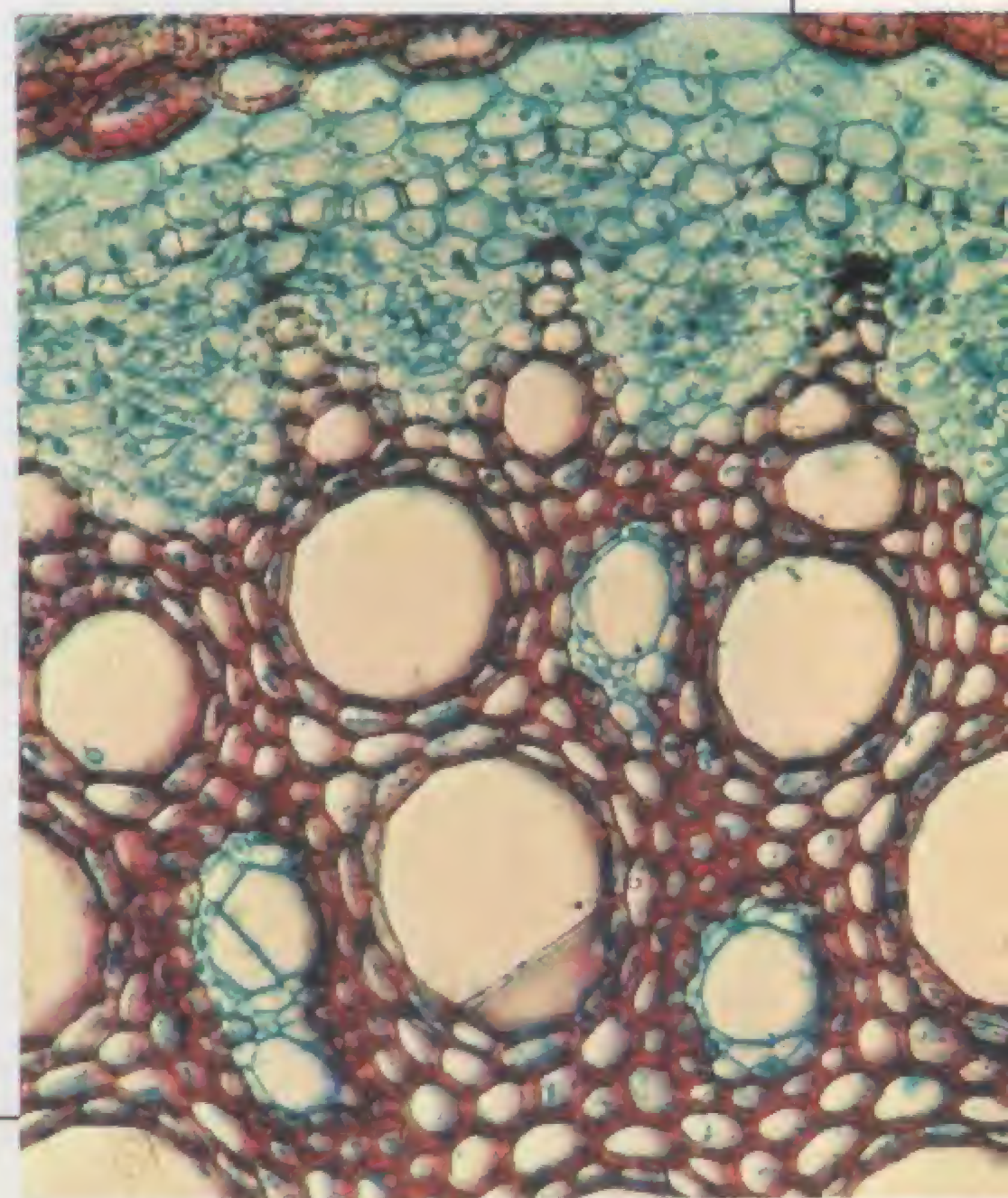
Maderamen Con este término nos referiremos tanto a los troncos enteros como a los diversos elementos obtenidos tras su aserrado. La obtención de piezas de madera de diversas longitudes y diferente grosor a partir del tronco de un árbol es un proceso que comprende varias etapas: el corte y el abatimiento del árbol (esto último requiere un complicado sistema de aparejos y cables, dado el tamaño de los troncos), la tala de las ramas, el descortezado y el tronzado, es decir, el corte del tronco en trozos de longitud adecuada para ser trabajados en el aserradero. Exis-

ten diferentes técnicas de corte y transporte del maderamen: en Suecia, por ejemplo, se utiliza una máquina (parecida a una máquina cosechadora) que derriba el árbol, lo despoja de las ramas, lo corta según las medidas deseadas y deposita los trozos sobre un transportador mecánico que los conduce directamente al aserradero; otro sistema, utilizado en América del Norte, consiste en transportar los troncos, ya cortados, mediante un sistema de cables aéreos. Sin embargo, la mecanización completa de este proceso no resulta siempre factible. Un ejemplo de esto son las explotaciones forestales de Birmania, donde todavía hoy se utilizan elefantes para transportar los troncos de teca, uno de los árboles de madera más apreciada mundialmente; de hecho, el terreno es tan abrupto y accidentado que resulta imposible cualquier tipo de mecanización. El maderamen para la construcción es, entre los materiales básicos, el más versátil debido a sus múltiples aplicaciones. Por lo demás, la mayoría de las restantes maderas no se utiliza, bien porque sus características son aún desconocidas, bien porque se dispone de pequeñas cantidades de ellas o sólo son asequibles en lugares lejanos.

Considerando el maderamen en las formas más simples bajo las que se presenta —listones, tableros, vigas—, podremos comprobar que sus propiedades apuntan siempre hacia la resistencia, dureza y ligereza relativa. Casi la mitad de la producción total de maderamen es utilizada,

Abajo, sección microscópica de la raíz de un árbol del género *Monstera*. La madera presenta numerosas fibras leñosas distribuidas en estrella. Los brazos

de esta estrella están formados por protoxilema y su interior por gruesos vasos conductores. El liber está intercalado entre los brazos de la estrella.



por su buena combustión, como fuente de energía; no obstante, el uso habitual de madera en el campo de la construcción (para encofrados de hormigón armado, aglomerados, etc.) ha hecho de éste un producto de primera necesidad en el comercio mundial.

Madera blanda y madera dura Con el término de *madera blanda* se entiende generalmente la madera obtenida a partir de árboles de la familia de las coníferas, una madera fácil de trabajar si la comparamos con la madera, mucho más dura, de los árboles de hoja ancha.

Las coníferas se encuentran distribuidas a lo largo de las regiones de clima templado o subtropicales; en conjunto, constituyen casi dos tercios de las reservas mundiales de maderamen. Estos árboles, muy resistentes a los climas duros y a la intemperie, marcan los límites de crecimiento de los árboles en las montañas y en las zonas árticas: esta característica los convierte en árboles especialmente aptos para la repoblación, sobre todo en las zonas donde es necesaria la protección de plantas más sensibles o próximas a su extinción. Al ser de hoja perenne, las coníferas pueden proteger a las especies más débiles, de hoja caduca por lo general, de

la contaminación del aire, a la vez que proporcionan al bosque las condiciones óptimas de luminosidad para que éste se desarrolle con normalidad. En definitiva, las coníferas contribuyen altamente a la salvaguardia del patrimonio forestal y a la protección y regeneración de diversas especies.

La abundancia de los bosques de coníferas ha determinado que, por lo general, su madera constituya un elemento básico para la construcción de edificios. Paralelamente al desarrollo conseguido en la tecnología de los aserraderos, se ha ido obteniendo una amplia variedad de nuevos productos para la construcción, derivados fundamentalmente del maderamen de pino: la madera contrachapada, el tablero de fibras, el tablero de capas, el aglomerado; todos ellos fabricados a partir de láminas, fibras y virutas prensadas, procedentes de coníferas. De esta forma la madera blanda de las coníferas puede transformarse artificialmente, dando lugar a nuevos materiales con una resistencia y unas propiedades mecánicas similares a las de la madera dura.

Las plantas gimnospermas, como las coníferas, se asentaron sobre la Tierra durante el período Cretácico. Simultáneamente empezaron también a surgir las an-

giospermas, de madera dura y productoras de flores. El posterior cambio geológico y climático facilitó la diseminación de estas últimas, y originó el declive de las gimnospermas, cuyo territorio quedó limitado a las zonas septentrionales de ambos hemisferios. Esto nos explica por qué las plantas de madera dura se encuentran distribuidas preferentemente a lo largo de la banda ecuatorial, entre ambos trópicos. Forman grandes bosques y selvas, con numerosa variedad de especies.

De las cepas que quedan tras cortar y derribar ciertos árboles de madera dura, brotan nuevos tallos, lo que permite que a partir de una misma raíz crezcan diferentes troncos. Esta cualidad posibilita el desarrollo de métodos de explotación forestal destinados exclusivamente a producir leña para arder o material para cercas. Sin embargo, la creciente demanda de madera blanda ha dado lugar a una reconversión de los antiguos bosques de árboles de hoja ancha en nuevos bosques de coníferas; por otra parte, los bosques de árboles de hoja ancha situados en terrenos fértiles están sufriendo un proceso de exterminio como consecuencia de la necesidad de adaptar nuevos terrenos para el desarrollo agrícola. El uso de madera dura, como la teca, la caoba, el no-

A la izquierda, un templo japonés construido con madera, y, a la derecha, un amazón de madera para una barca. Aunque en la actualidad haya

cochado gran auge el uso de materiales sintético-plásticos y de aluminio, la madera sigue siendo idónea para la fabricación de embarcaciones pequeñas y medianas.





En la fotografía de abajo puede observarse el proceso de aserrado de un tronco que posteriormente será utilizado para la fabricación de tableros contrachapados con destino a la industria del mueble. Como puede apreciarse, el tronco

previamente aserrado ha sido tronzado, descortezado, lavado y secado. Al final del proceso, la madera, bajo forma de vigas, listones o tablas, será utilizada como material de construcción o simplemente dedicada a la fabricación de productos de carpintería.

Una característica fundamental de los bosques de árboles de hoja ancha es la inmensa riqueza y variedad de fauna de sus ecosistemas. La irresponsable repoblación forestal de coníferas en las zonas ocupadas anteriormente por bosques de árboles de hoja ancha ha puesto en grave peligro el equilibrio ecológico del sistema, convirtiendo la salvaguardia del hábitat y la conservación del paisaje en necesidades inaplazables y de primer orden.

Un futuro para nuestros árboles Hace unos diez mil años, los bosques y las selvas cubrían casi dos terceras partes de la superficie continental. En la actualidad, esta cifra ha quedado reducida a un ter-



volverán a ser trasplantados y que irremisiblemente puede significar la desaparición de ciertas especies.

La creciente contaminación del aire, del suelo y del agua provoca además profundas transformaciones en el estado vegetativo de los árboles, alterando en última instancia las características peculiares de las distintas clases de madera. Las coníferas son, a excepción del alerce, menos resistentes a la acción de los contaminantes que los árboles de hoja ancha. Mientras que estos últimos son de hoja caduca, las coníferas son perennes y por tanto tienen una mayor capacidad para acumular sucesivamente las sustancias nocivas.

El estado final de la madera refleja las condiciones en que ha vivido el árbol del que procede; la despoblación forestal incontrolada y la contaminación creciente alteran irreparablemente las características físicas y mecánicas de las maderas blandas, preciosas o no. Por lo tanto, sólo a partir de una nueva visión del progreso se podrá alcanzar un equilibrio sensiblemente favorable para el mundo vegetal y, en consecuencia, para el hombre.

Véase: Arbol; Bosque; Carpintería; Ebanistería; Madera contrachapada; Talla en madera

La fotografía (abajo) nos muestra la máquina de encolado y prensado de una fábrica dedicada a la

elaboración de tableros de aglomerado, cada día más utilizados en la moderna industria del mueble.



gal, el haya y la encina, abarca desde el chapeado de tableros a la fabricación de muebles y materiales de construcción; también es utilizada para la fabricación de instrumentos musicales, material deportivo y mangos de diversos utensilios. Finalmente, las maderas duras más vulgares se utilizan para la fabricación de embalajes o para el apuntalamiento de galerías (túneles de carreteras, minas, etcétera).

cio y el otro tercio del territorio forestal ha sufrido graves modificaciones. Parte de estas últimas se han producido como consecuencia de los cambios climáticos; las plantas necesitan unas condiciones mínimas de humedad y temperatura, y durante los pasados siglos casi todas las zonas de la superficie terrestre han padecido, en algún momento, épocas de frío o de sequía, que han impedido la supervivencia de muchas plantas. Sin embargo, son principalmente las modificaciones inducidas por el hombre las que han hecho cada vez más precaria la convivencia entre el mundo vegetal y el progreso tecnológico (construcción de ciudades y de zonas industrializadas contaminantes, conversión de antiguas zonas forestales en zonas agrícolas y de pastoreo, explotación insensata e irracional de la tierra mediante métodos agrícolas que han desolado el paisaje y han desertizado enormes superficies de terreno, etc.). Fijémonos, por ejemplo, en la selva amazónica, el llamado "pulmón del planeta"; a través de ella se ha trazado el recorrido de la autopista transamazónica, un inmenso proyecto que implica la destrucción de miles de árboles que serán abatidos mediante los poderosos medios mecánicos de que dispone hoy el hombre. Árboles derribados arbitrariamente, algunos de ellos seculares, que no



Madera contrachapada

La madera contrachapada, formada por finas chapas de madera sólidamente encoladas entre sí, resulta —tras ser comprimida— más ligera y resistente que muchos metales. Se utiliza a escala mundial en la construcción de cajas y contenedores para el transporte de los más variados tipos de mercancías, desde enormes máquinas industriales hasta fruta, verdura y delicados instrumentos científicos.

Finas láminas de madera, llamadas *chapas*, con un espesor variable de 1 a 3 mm, se encolan y se superponen, de modo que las fibras de una lámina estén siempre en dirección perpendicular a las de la lámina inmediatamente inferior. Después se introducen al calor en prensas, que hacen que los distintos estratos se adhieran perfectamente entre sí. El espesor estándar de las láminas de contrachapado puede ser de 6, 13, 25 y 29 mm. Para obtener una

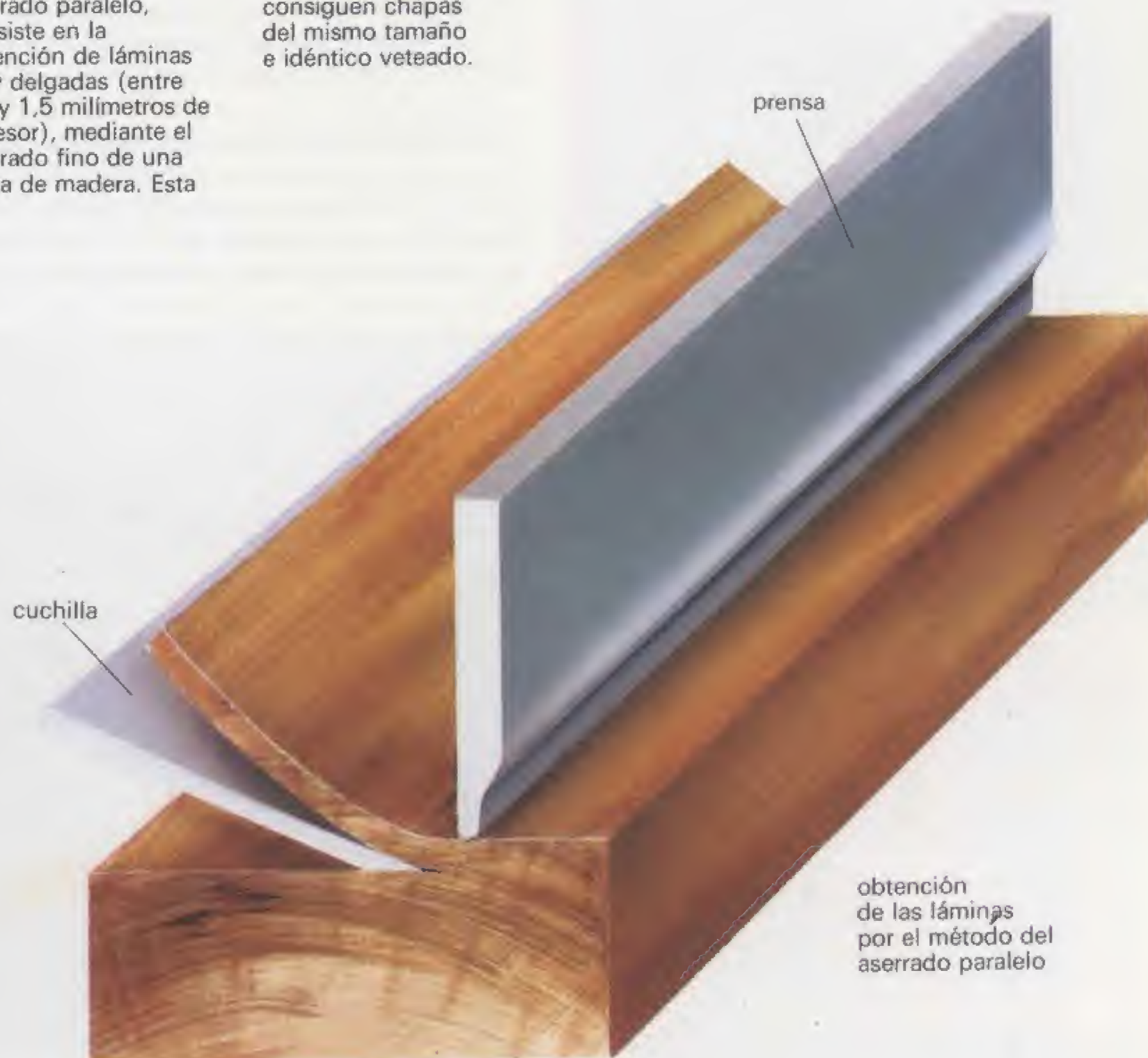
Una fase previa a la elaboración de la madera contrachapada incluye la preparación de finas láminas de madera que posteriormente serán encoladas y prensadas una sobre otra. Esta operación, llamada *aserrado paralelo*, consiste en la obtención de láminas muy delgadas (entre 0,5 y 1,5 milímetros de espesor), mediante el aserrado fino de una pieza de madera. Esta

es sólidamente fijada a la máquina por fuertes tornillos de sujeción, mientras que una cuchilla, impulsada mecánicamente y con gran precisión, practica los cortes de distintas capas sucesivamente. De esta manera se consiguen chapas del mismo tamaño e idéntico veteado.

El dibujo de abajo ilustra este proceso: el tronco, previamente reducido a un paralelepípedo, se corta en finas láminas.



Angelo Cremona & Figlio, Monza



mayor resistencia se utiliza, en la capa central, una hoja de madera maciza en vez de láminas de chapa. Para embalajes ligeros, entre las hojas de chapa se intercalan capas de balsa, cartón o acetato.

Al disponer las chapas de forma que la orientación de las fibras de una lámina forme ángulo recto con las de la siguiente, la madera contrachapada ofrece gran resistencia a la presión, tanto en sentido horizontal como en sentido vertical, y resulta menos deformable que cualquier tablero de madera maciza. Presenta además otras ventajas. La madera contrachapada fue utilizada en un principio para hacer frente al elevado coste y a la escasez de piezas de madera de dimensiones suficientemente grandes, derivados a su vez de la falta de árboles de grandes dimensiones. Los tableros de madera contrachapada de dimensiones estándar (1,2 x 2,4 m) son obviamente mayores que cualquier pieza normal de madera. Además, para la madera contrachapada se pueden utilizar maderas con nudos y grietas que de otro modo no tendrían aprovechamiento posible. Los nudos se extraen, y los agujeros, al igual que las pequeñas grietas, se rell-

FABRICACION DEL PANEL COMPUESTO



En la madera contrachapada, las láminas, tras haber sido encoladas sus caras internas, se apilan una sobre otra. En la superposición o apilado, las direcciones de las fibras de dos láminas adyacentes deben ser perpendiculares entre sí (derecha). De este modo se evita la curvatura por variaciones de

temperatura o humedad y, sobre todo, la resistencia del tablero resulta igual en todas las direcciones. El tablero compuesto (arriba) está formado por dos capas de madera contrachapada y, en medio, sucesivos listones, uno junto a otro, para obtener un panel compacto y de gran resistencia mecánica.

MADERA CONTRACHAPADA DE TRES CAPAS

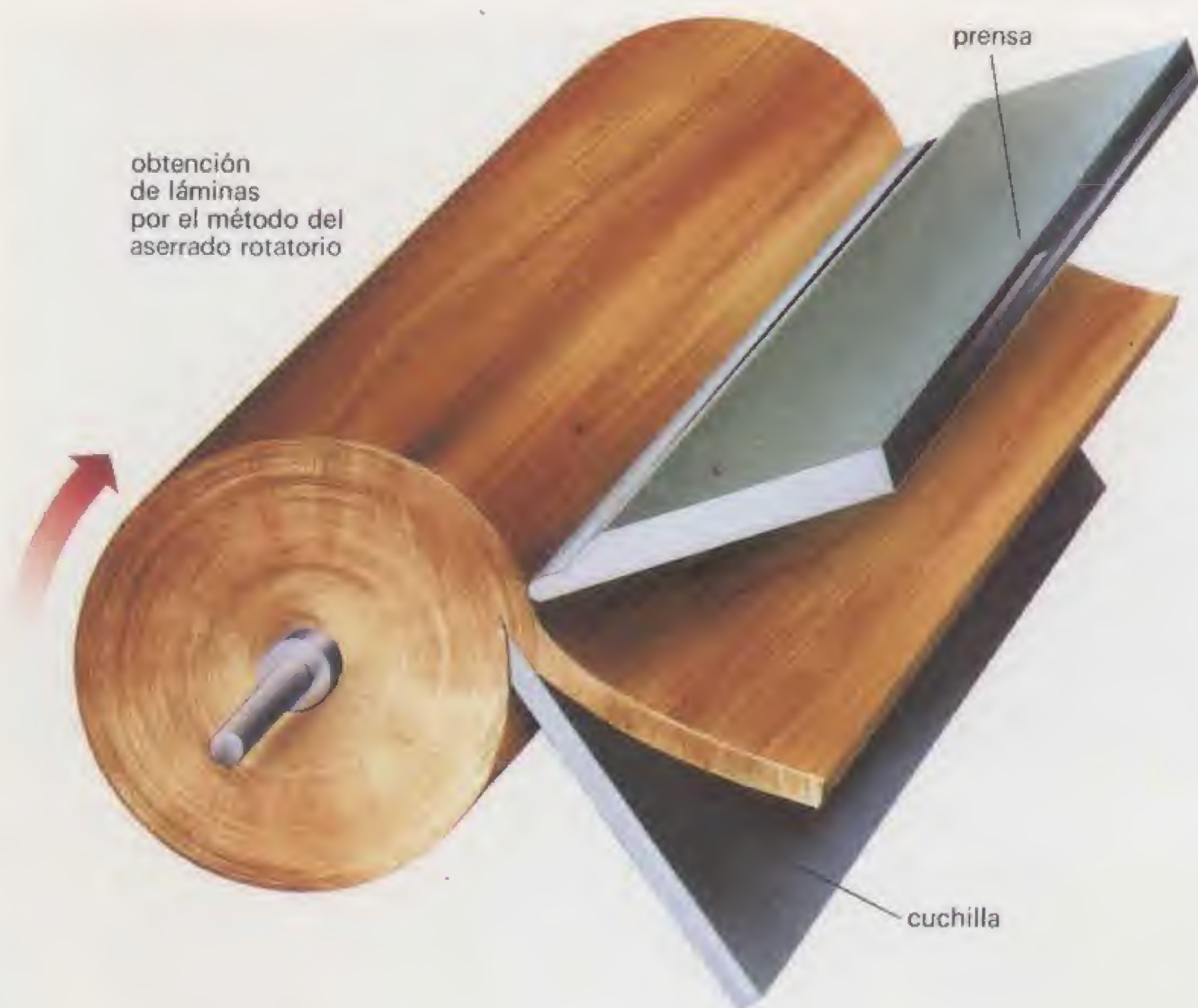




Angelo Cremona & Figlio, Monza

La obtención de chapas para la fabricación de contrachapados se realiza mediante un torno de cuchillas o laminadora. Los troncos, que anteriormente han sido descortezados y convertidos en cilindros perfectos de un tamaño apto para la máquina, son colocados sobre ésta y fijados por fuertes tornillos de sujeción. En cuanto la cuchilla cortante del torno se pone en contacto con el tronco, que va girando, la madera es convertida en una lámina continua de pocos milímetros de espesor.

pecífica. La madera contrachapada para exteriores, cuyas chapas son adheridas con una cola especial, es más resistente al agua y a los microorganismos, al frío, al agua caliente, al vapor y al calor seco. Para interiores y para zonas de clima seco se utiliza una madera contrachapada menos elaborada. La calidad del chapeado, en cuanto a su aspecto, se identifica por las letras N (la mejor), A, B, C, D. La madera contrachapada de mejor calidad es esmerilada por uno o por los dos lados, de forma que —tras el barnizado— puede llegar a tener el mismo aspecto que las mejores piezas de madera. La madera contrachapada de calidad inferior presenta nudos y grietas, y se utiliza generalmente en los edificios de viviendas, bajo los suelos, intercalada entre la estructura de los tabiques y como revestimiento exterior.



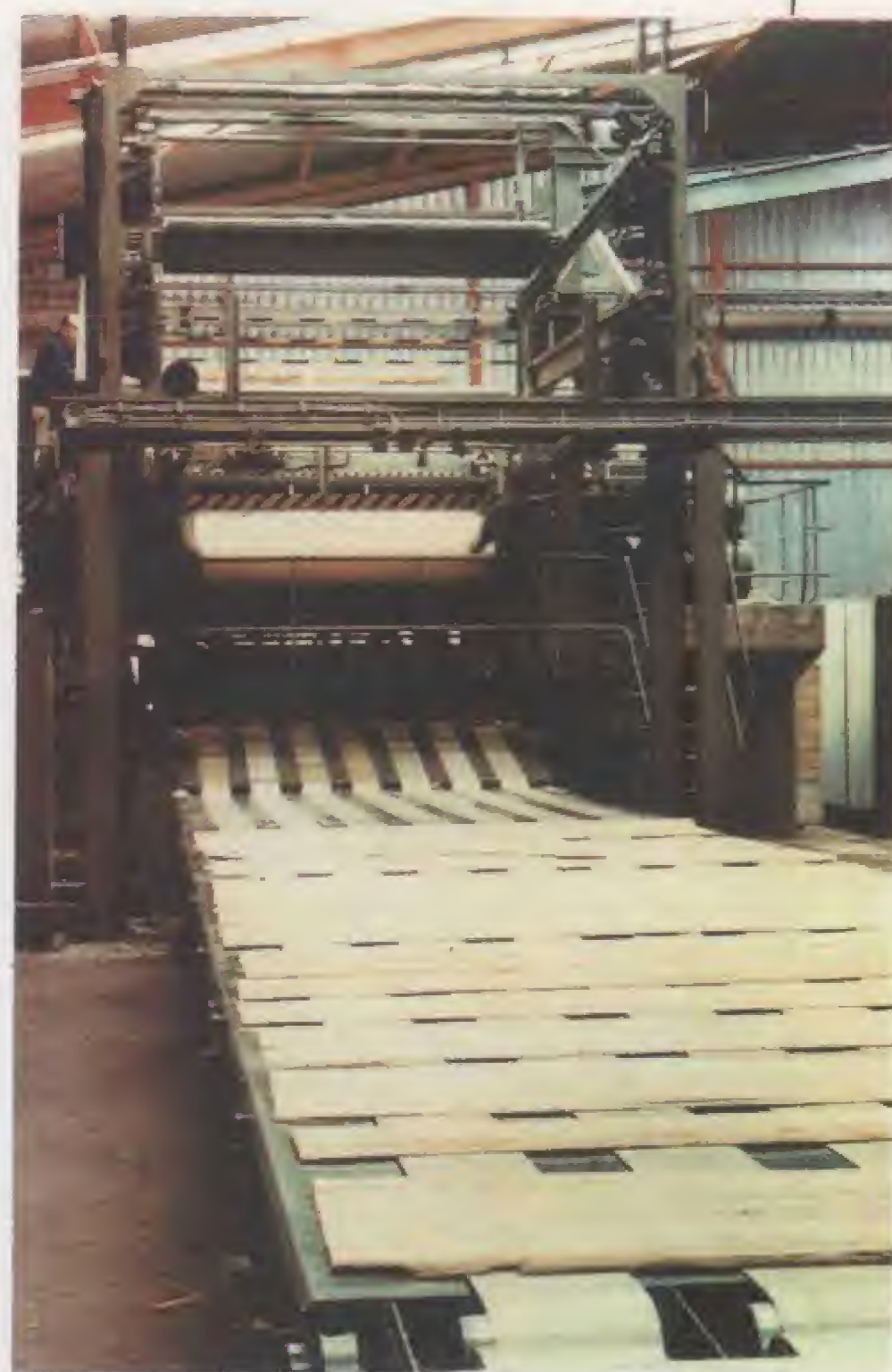
nan con productos sintéticos. Los bordes o cantos de la madera contrachapada dejan ver la superposición de capas, pero en la fabricación de muebles se enmascara con una tira de chapa que los cubre.

Actualmente, en algunas fincas agrícolas se ha iniciado la plantación de árboles destinados exclusivamente a la producción de madera contrachapada. Existen cerca de 70 especies de árboles distintas y adecuadas a este fin. La mayoría son árboles de maderas blandas, como el abeto Douglas, que es el más común y resistente. Algunas maderas duras se utilizan para efectos decorativos especiales.

La mayor parte de las hojas para chapeado se corta mediante una máquina la-

minadora especialmente adaptada para ese fin: primero los troncos son descortezados, después se les hace girar sobre sí mismos mientras el torno de laminado va haciendo una lámina continua. A veces las hojas para el chapeado se cortan o se sierran a partir de maderas planas, a fin de obtener dibujos de veteado simétrico, sobre todo en maderas duras.

Tipos de madera contrachapada Al comprar madera contrachapada es aconsejable prestar atención al etiquetado que marca las características de calidad de la superficie externa, las categorías de las especies de madera que la componen y si ha sido fabricada para una finalidad es-



Láminas especiales, extremadamente resistentes (*extrastrong*), se utilizan bajo la cubierta de los tejados en zonas expuestas a fuertes vientos, abundantes nevadas o terremotos.

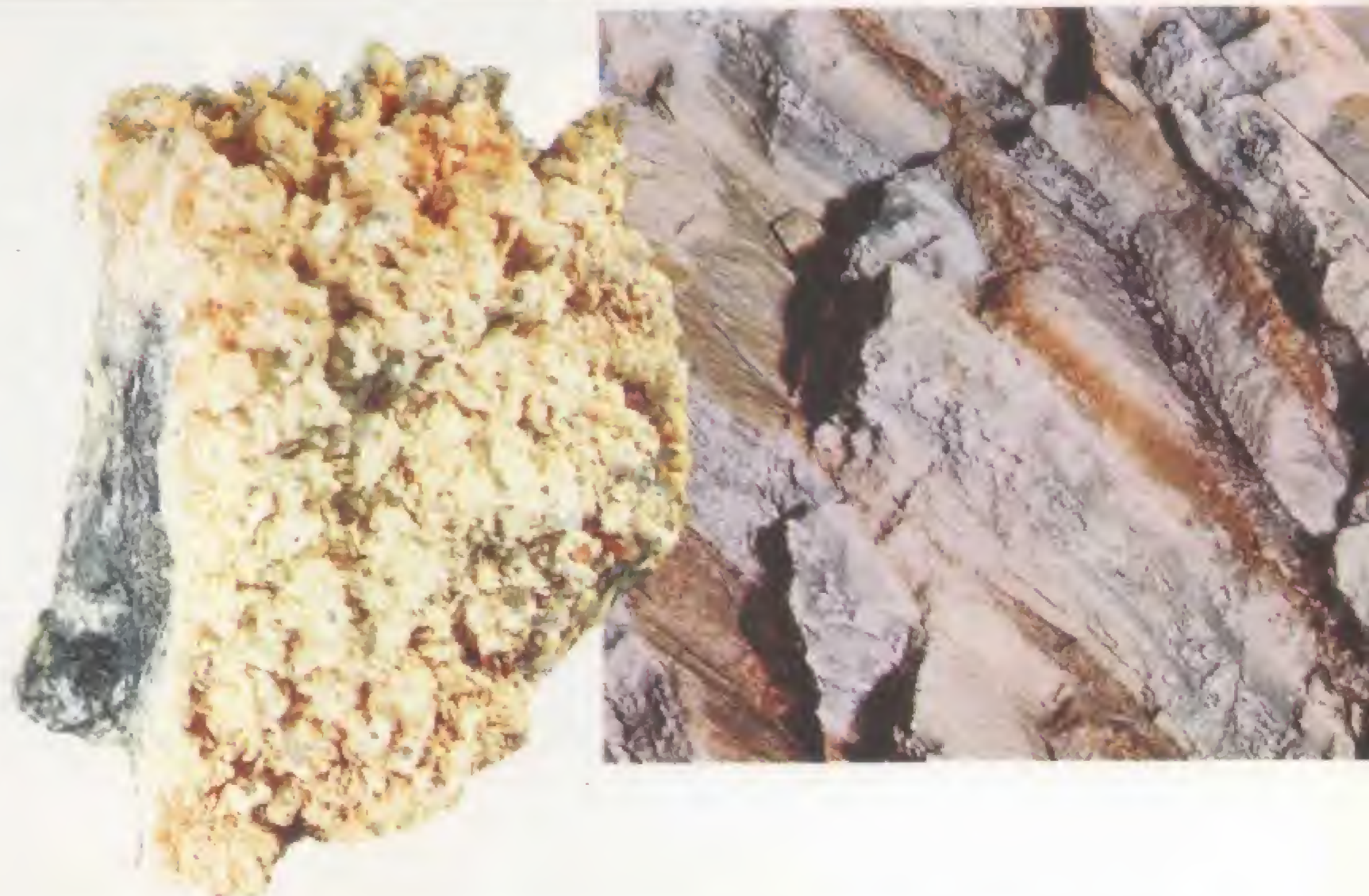
También se fabrica un tipo de madera contrachapada más flexible (*smooth underlayment*), que se introduce bajo el linóleo o la moqueta para suelos.

Algunos tipos de contrachapado son acabados de modo que imiten al parqué. Otros pueden tener un acabado en fibroresina, o bien ser sometidos a tratamientos particulares para proporcionarles un aspecto rústico.

Véase **Madera**

Magnesio

NOMBRE	MAGNESIO
SÍMBOLO	Mg
ETIMOLOGÍA DEL NOMBRE Y DEL SÍMBOLO	de Magnesia, en Tesalia (Grecia)
N. ATÓMICO	12
P. ATÓMICO	24,312
ESTADO NATURAL	en los minerales magnesita, dolomita, olivino y serpentina; en muchas rocas y en el agua del mar
DESCUBRIMIENTO Y AISLAMIENTO	J. Black (1755) H. Davy (1808)
PRODUCCIÓN	electrolisis del cloruro fundido o reducción del óxido
P. f. (°C)	650
P. eb. (°C)	1.103
PESO ESPECÍFICO O DENSIDAD	1,74
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal reactivo usado para preparar con aluminio, cinc y magnesio aleaciones ultraligeras usadas en aeronáutica, automovilismo y en el campo de los misiles.



El magnesio es uno de los pilares de la construcción de la Naturaleza y del Universo. Por ser el metal estructural más ligero, el magnesio es el material ideal en la "era del espacio", siendo ampliamente utilizado en aleaciones con metales más resistentes para la fabricación de piezas de aviones, misiles, cabinas espaciales; así como en la industria del automóvil y en la fabricación de herramientas y objetos domésticos. El magnesio, por otra parte, resulta familiar a quien haya tenido trastornos digestivos: en efecto, el hidróxido de magnesio en suspensión acuosa es el laxante y antiácido conocido comúnmente como "lechada de magnesia", que combate la acidez de estómago por ser una sustancia alcalina.

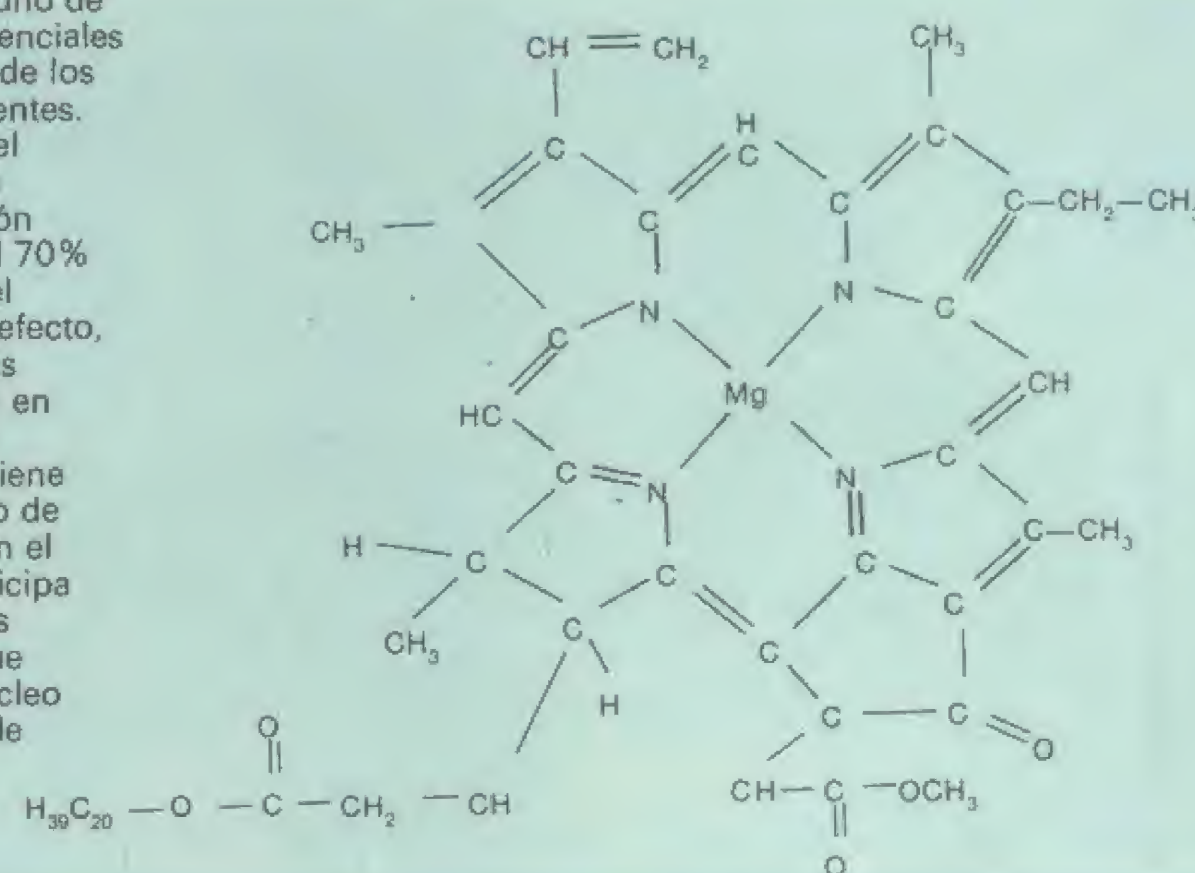
El cuerpo humano tiene necesidad de la acción del magnesio como catalizador enzimático en el metabolismo (combustión) de los hidratos de carbono.

Uno de los papeles más importantes de este elemento es el que desempeña en la fotosíntesis de las plantas verdes. El magnesio es el núcleo de la molécula de clorofila, presente en las plantas verdes, que interviene en la captación de energía luminosa, necesaria para producir hidratos de carbono y oxígeno a partir del dióxido de carbono y del agua.

Descubrimiento El magnesio, que toma su nombre de Magnesia, un distrito de Tesalia (Grecia), se encuentra en la Naturaleza solamente en forma de compuestos en combinación con otros elementos y nunca en estado libre.

En realidad, análogamente a los otros elementos de su grupo en el sistema periódico, los metales alcalinotérreos, el magnesio fue primeramente clasificado como "tierra", puesto que se pensaba que era un elemento no metálico, insoluble en agua y no alterable al fuego. Como era también semejante a los álcalis (sosa y potasa), fue considerado una "tierra alcalina".

El magnesio es uno de los elementos esenciales en la estructura de los organismos vivos. Con el calcio y el fósforo participa en la composición del esqueleto. El 70% del magnesio del cuerpo está, en efecto, en los huesos. Es además esencial en la acción de las enzimas e interviene en el mecanismo de los azúcares y en el del fósforo. Participa en la fotosíntesis clorofilica, ya que constituye el núcleo de la molécula de la clorofila.



Sin embargo, en la primera década del siglo XIX se hizo patente que estas "tierras" no eran, en realidad, elementos químicos, sino los óxidos de esos elementos. El magnesio en estado puro fue descubierto en 1808 por sir Humphrey Davy, científico inglés que utilizó una amalgama de magnesio y mercurio, obteniendo el magnesio tras hacer evaporar el mercurio. El primer magnesio metálico fue aislado en 1828 por el científico francés A. A. B. Bussy.

Principales características De color blanco plateado, el magnesio tiene número atómico 12, masa atómica 24,312 y es el metal estructural más ligero: presenta un aspecto similar al del aluminio, pero pesa un tercio menos que este elemento y algo menos que la cuarta parte del hierro. Su punto de ebullición es de 1.103 °C y el de fusión, 650 °C. Con una configuración electrónica por niveles de 2-8-2, su capacidad de combinación o valencia es 2. Se combina fácilmente con otros elementos, cediendo los dos electrones que tiene en el último nivel.

Debido a esta última característica, el magnesio es un fuerte agente reductor (cede cada electrón), siendo empleado para obtener otros elementos metálicos (titanio y circonio, por ejemplo) de sus compuestos.

Producción del magnesio El magnesio fue una curiosidad científica hasta 1886 en que la I. G. Farbenindustrie alemana comenzó a utilizar un método electrolítico para producir magnesio del cloruro, de magnesio, depositándose el elemento libre en el cátodo de la cuba electrolítica. Durante la I Guerra Mundial, cuando el abastecimiento desde Alemania fue interrumpido, el resto del mundo tuvo que buscar nuevas fuentes. En Estados Unidos la Dow Chemical Company inició la producción de magnesio a partir de cloruro de magnesio extraído de aguas saladas de pozos profundos. Actualmente, el magnesio se obtiene principalmente del agua del mar, utilizando todavía el procedimiento electrolítico. También puede ser obtenido de rocas dolomíticas. La dolomi-

ta, roca compuesta por calcio y magnesio, se mezcla con ferro-silicio (aleación de hierro y silicio) y se calienta al vacío hasta que el silicio reduce al óxido de magnesio, formado al calentar la dolomita.

El magnesio metálico es obtenido por condensación de sus propios vapores en forma de sólido cristalino. Después es sometido a fusión y presentado en forma de lingotes.

Compuestos y aleaciones El cloruro de magnesio (MgCl_2) que da al agua de mar ese característico sabor amargo, se produce por medio de la acción del ácido clorhídrico sobre el hidróxido de magnesio. Este se usa para producir el magnesio metálico, en la fabricación de cementos, para pavimentos y como aditivo en la fabricación de tejidos. El hidróxido

de magnesio $\text{Mg}(\text{OH})_2$ es un polvo blanco producido a partir del agua de mar por adición de lechada de cal, un compuesto del calcio. Es usado principalmente como materia prima en la producción de magnesio metálico y del laxante conocido como "lechada de magnesia".

El carbonato de magnesio (MgCO_3) se emplea en el aislamiento de calderas y de tuberías, como aditivo en los alimentos, en los productos farmacéuticos, en los cosméticos, en las tintas y en el vidrio.

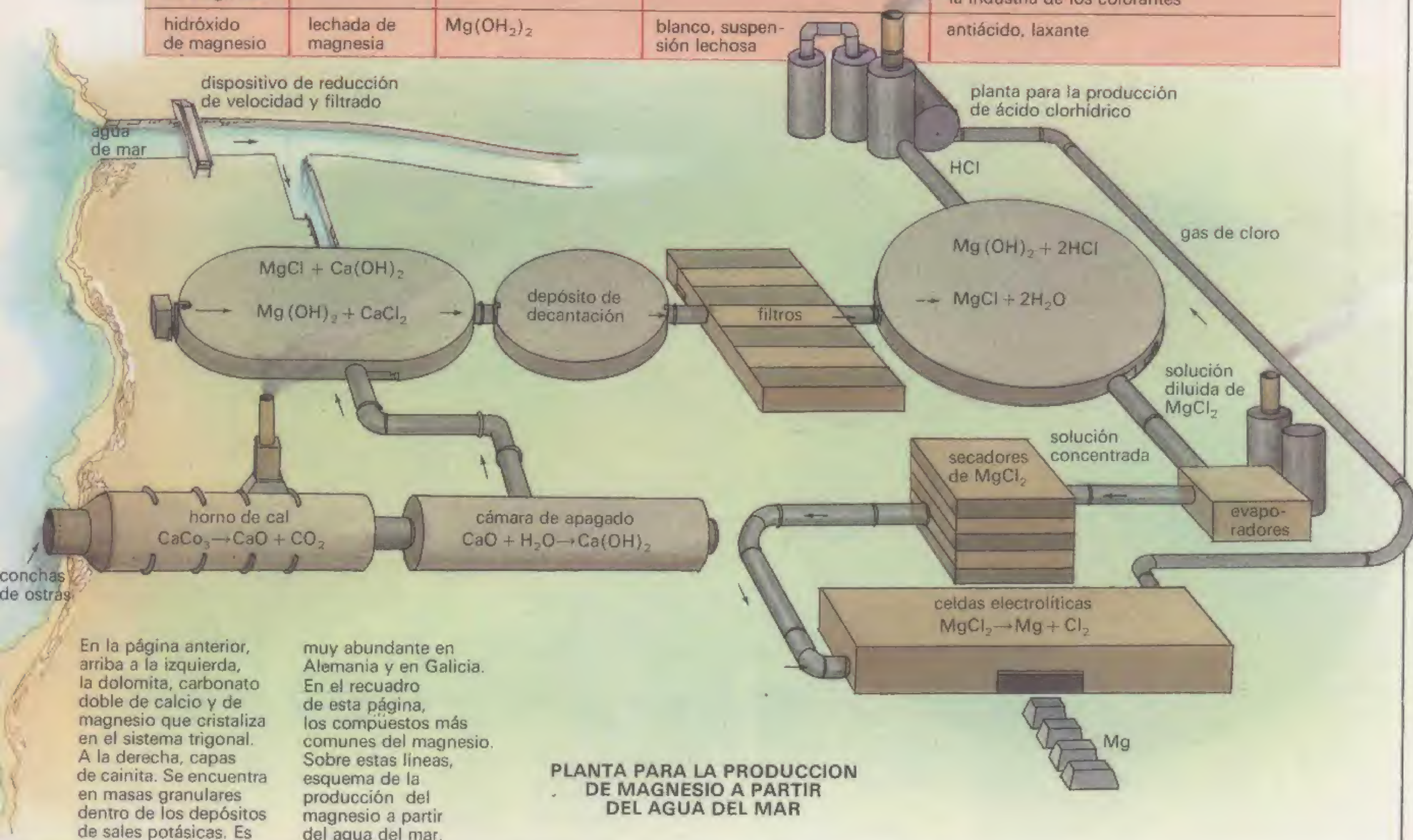
Las aleaciones de magnesio que constan de un 90% de magnesio y de un 10% de aluminio y cinc, o bien de circonio y de cinc son muy importantes para la industria. El magnesio en estado puro tiene una baja resistencia estructural; las aleaciones, en cambio, son más resistentes mecánicamente, y más resistentes tam-

bién a la corrosión producida por el agua salada, más fáciles de laminar, de soldar y de trabajar a máquina, manteniendo siempre la ventaja del bajo peso específico del magnesio. Un elemento de un objeto aeroespacial, que pesaría 140 kg si fuese contruido en acero, pesa menos de la mitad si está fabricado en magnesio. Por esta razón el magnesio es un material muy importante en los más diversos objetos, desde los satélites espaciales a los automóviles.

Véase Alimentación, carencias; Electrolisis; Enlace químico y valencia; Metales; Metales alcalinotérreos

PRINCIPALES COMPUESTOS DEL MAGNESIO

NOMBRE QUIMICO	NOMBRE VULGAR	FORMULA	ASPECTO	APLICACIONES
carbonato de magnesio		MgCO_3	blanco, ligero	para el revestimiento de hornos; para la producción de óxido
carbono básico de magnesio	magnesia	$\text{Mg}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	polvo suave blanco	para los detergentes; para revestimiento de tuberías
óxido de magnesio	magnesia	MgO	polvo blanco	material refractario; para revestimiento de hornos
cloruro de magnesio		MgCl_2	blanco, cristales sólidos	junto con el amianto sirve como material para pavimentación
sulfato de magnesio	epsomita	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	blanco, cristales sólidos	como laxante, purgativo y en la industria de los colorantes
hidróxido de magnesio	lechada de magnesia	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	blanco, suspensión lechosa	antiácido, laxante



Magnetismo

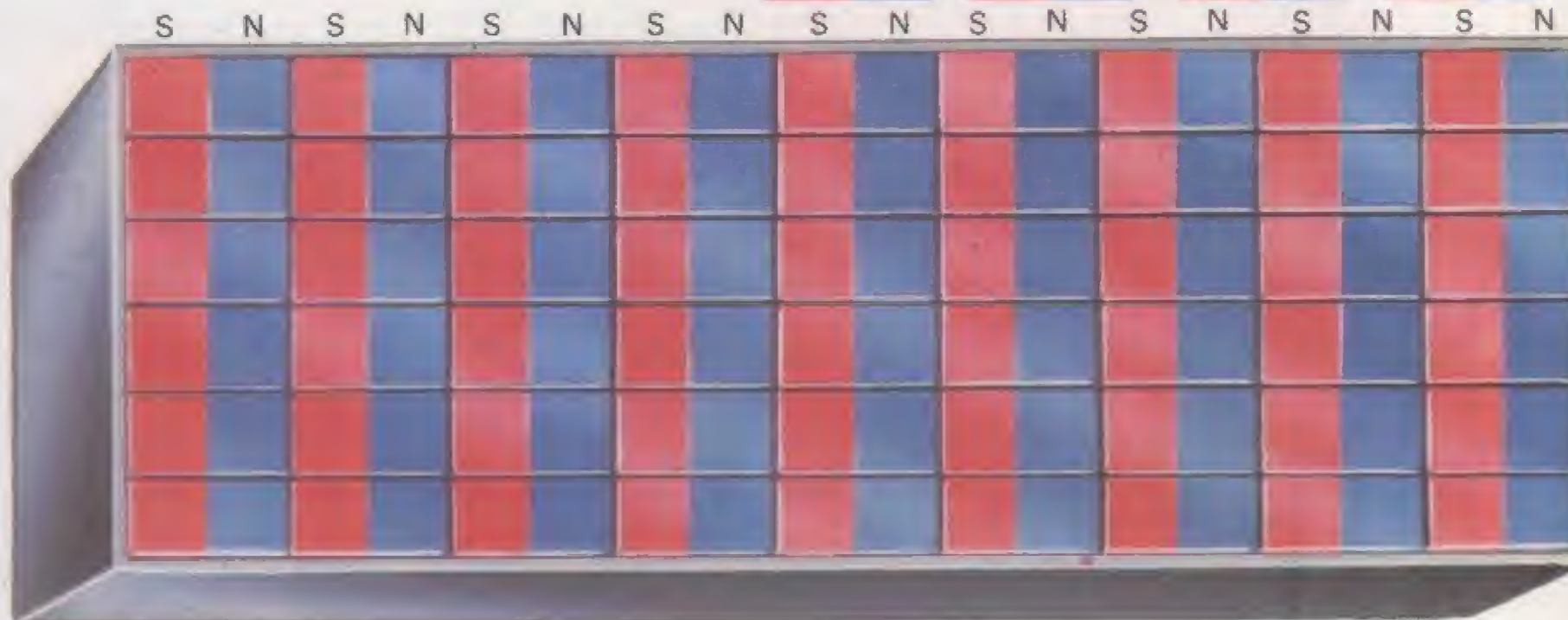
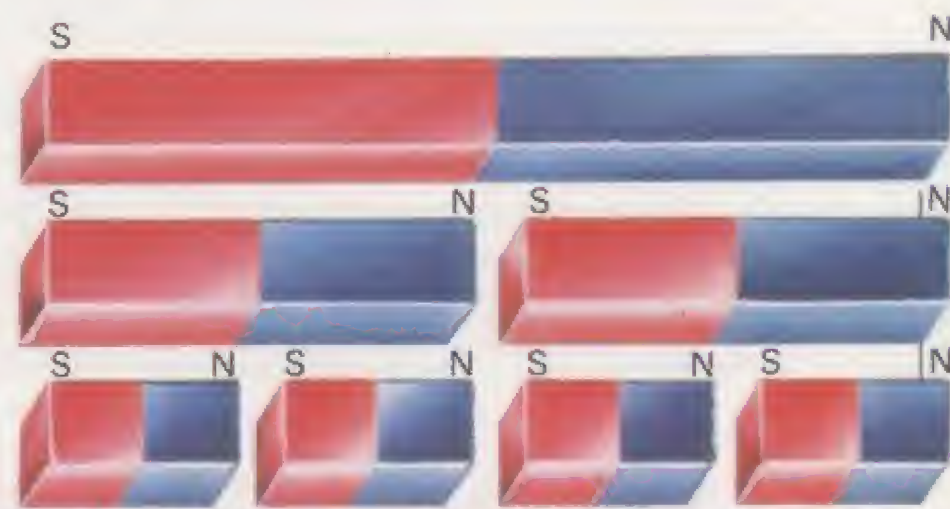
La acción atractiva de la magnetita, o imán natural, sobre el hierro era conocida desde la Antigüedad. La aplicación a la navegación del fenómeno que consiste en que un imán que puede girar libremente se orienta siempre en la misma dirección se realizó hacia los siglos XVI y XVII, y fue desarrollándose progresivamente.

La brújula magnética es uno de los instrumentos más simples, se trata de una aguja magnética libre para girar sobre un eje vertical. La aguja es sensible al *campo magnético de la Tierra*, cuyos dos polos están cercanos a los polos geográficos norte y sur, aunque no coinciden exactamente con ellos. Los dos polos magnéticos están unidos por las *líneas de fuerza del campo*, de las que sólo algunas tienen la dirección geográfica norte-sur, estando la mayoría inclinadas un cierto ángulo respecto a los meridianos. El ángulo entre las líneas de fuerza y la dirección geográfica norte-sur que define el meridiano se llama *declinación*. Debido a que los polos magnéticos se desplazan lentamente sobre la superficie de la Tierra, la declinación existente en un determinado lugar cambia ligeramente de un año a otro.

Durante el siglo XVIII los científicos hicieron importantes descubrimientos en el campo de la electricidad, pero ninguno de ellos captó un aspecto fundamental: la relación que existe entre electricidad y magnetismo. Ya en el siglo XIX, en 1819, Hans Oersted hizo circular una corriente eléctrica por un hilo situado al lado de una brújula. Como la aguja de la brújula gira-

Colocando suspendido de un hilo un imán con forma de barra veremos cómo sus extremos se sitúan uno hacia el polo norte y el otro hacia el polo sur del campo magnético terrestre. Esta situación es una buena aproximación de la dirección norte-sur del meridiano geográfico, ya que los polos geográficos de la Tierra no coinciden con los polos magnéticos. Debido a que un imán manifiesta sus propiedades en los extremos, se podría pensar que, al partirlo por la mitad, se obtendría un "monopolo" norte y un

"monopolo" sur, o sea, dos trozos de imán con un polo cada uno. En cambio, no es así: partiendo por la mitad la barra, y después a su vez cada una de las partes obtenidas, y así sucesivamente, seguimos teniendo imanes completos, cada uno con dos polos. Según esto hay que pensar en el imán como un conjunto de pequeños imanes microscópicos, todos orientados en la misma dirección. Igual que en el caso de las cargas eléctricas, los polos opuestos de dos imanes se atraen y los polos del mismo signo se repelen.



los imanes se atraen



los imanes se repelen

En la foto a la izquierda de estas líneas se puede ver una antigua brújula china. Aunque actualmente no hay duda de que la brújula magnética la

inventaron los chinos, todavía resulta difícil determinar cómo y cuándo vio la luz este instrumento. Se sabe que los chinos conocían la existencia del imán natural y sus

propiedades ya en el siglo III a. de C., pero la primera descripción de una aguja magnética indicadora se remonta al primer siglo después de Cristo.

ba al pasar la corriente, Oersted se dio cuenta de que la corriente eléctrica también crea un campo magnético. En 1831, Michael Faraday descubrió que un *imán* en movimiento cerca de una espira de hilo conductor induce en el hilo el paso de una *corriente eléctrica*. Estos experimentos, junto a otros, demostraron la estrecha relación existente entre electricidad y magnetismo.

Características del campo magnético

Cada imán tiene dos polos, uno que "busca" el norte y otro que "busca" el sur. Los polos magnéticos opuestos se atraen mutuamente con una fuerza directamente proporcional a la intensidad de los polos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

Se puede observar que al romper un imán con forma de barra, cada uno de los trozos que lo constituían sigue teniendo un polo norte y un polo sur; si se siguen rompiendo los trozos del imán original se obtendrán todavía más imanes pequeños, cada uno de ellos con un polo norte y un polo sur. En cualquier caso todos los trozos, no importa lo pequeños que sean, tendrán siempre los dos polos. Este hecho hace pensar que cada uno de los átomos que compone el material es un imán microscópico elemental, que los científicos llamaron *magnetón*. En un imán permanente todos los magnetones están situados de forma ordenada en su interior. La sucesión de polos norte y sur de los magnetones neutraliza la acción de los polos de signo contrario enfrentados, pero no la

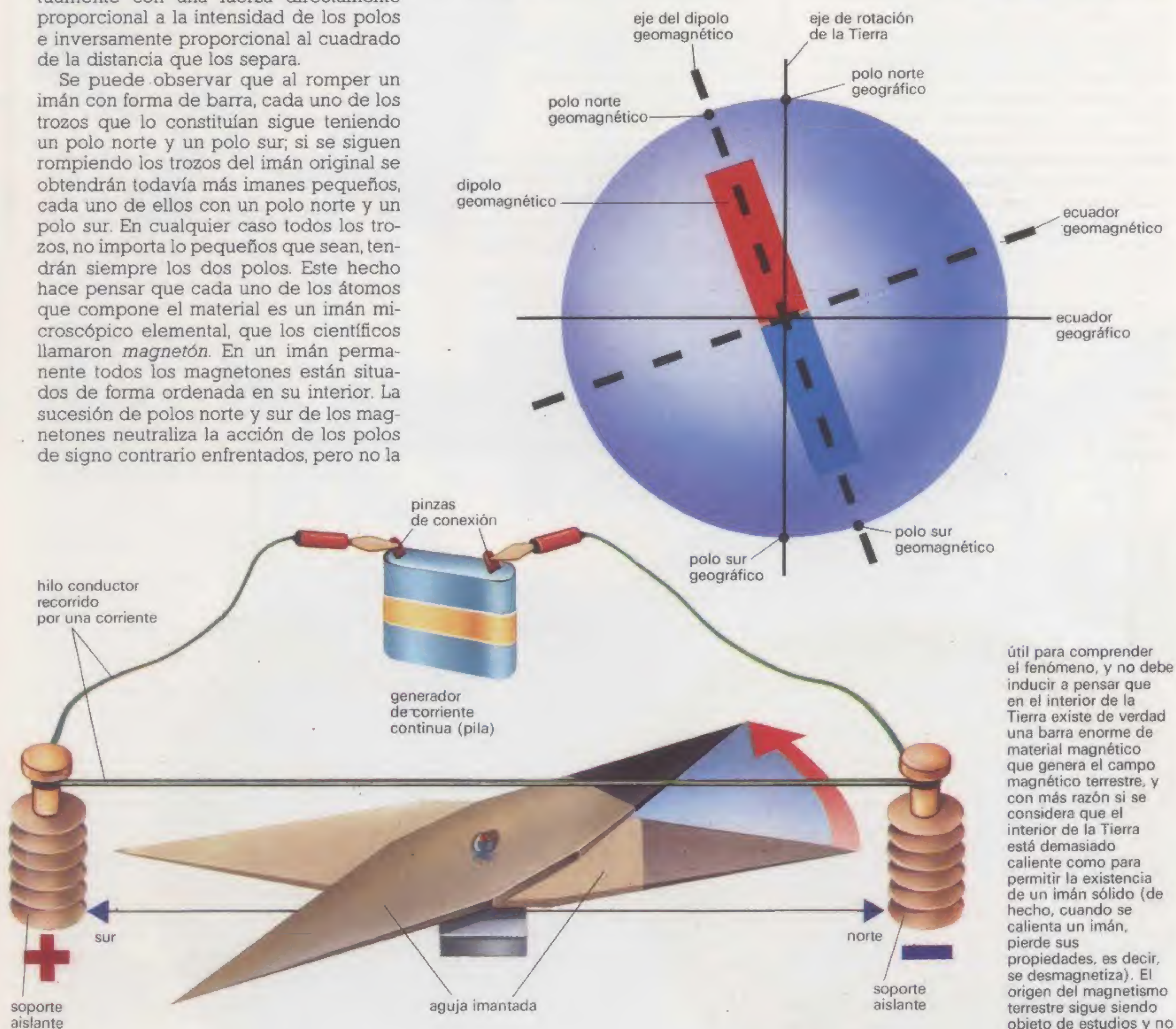
de los polos que están en los extremos. Por este motivo se explica el hecho de que en un imán permanente se aprecien sus propiedades sobre todo en los extremos, mientras que en la parte central apenas se notan.

Alrededor de un imán se crea un *campo magnético*, que se puede apreciar muy bien con un experimento sencillo: colocando el imán debajo de un papel sobre el que se esparcen limaduras de hierro, se podrá observar cómo éstas se colocan a lo largo de líneas bien definidas, que reciben el nombre de *líneas de fuerza del campo magnético*.

Paramagnetismo, ferromagnetismo y diamagnetismo

Cuando una corriente eléctrica circula por un conductor crea a su alrededor un campo magnético y, viceversa, los campos magnéticos variables, como los que existen en los *generadores eléctricos*, producen corrientes eléctricas. A partir de estas observaciones se obtuvo el principio fundamental, llamado *principio de equivalencia de Ampère*, según el cual una corriente circular se comporta a todos los efectos como una lámina finísima uniformemente magnetizada.

Este principio ha sugerido la idea de considerar que los magnetones son car-



útil para comprender el fenómeno, y no debe inducir a pensar que en el interior de la Tierra existe de verdad una barra enorme de material magnético que genera el campo magnético terrestre, y con más razón si se considera que el interior de la Tierra está demasiado caliente como para permitir la existencia de un imán sólido (de hecho, cuando se calienta un imán, pierde sus propiedades, es decir, se desmagnetiza). El origen del magnetismo terrestre sigue siendo objeto de estudios y no está todavía bien claro. Sin embargo, se piensa que el magnetismo terrestre es debido a corrientes en el interior de nuestro planeta, que se conservan gracias a su movimiento de rotación.

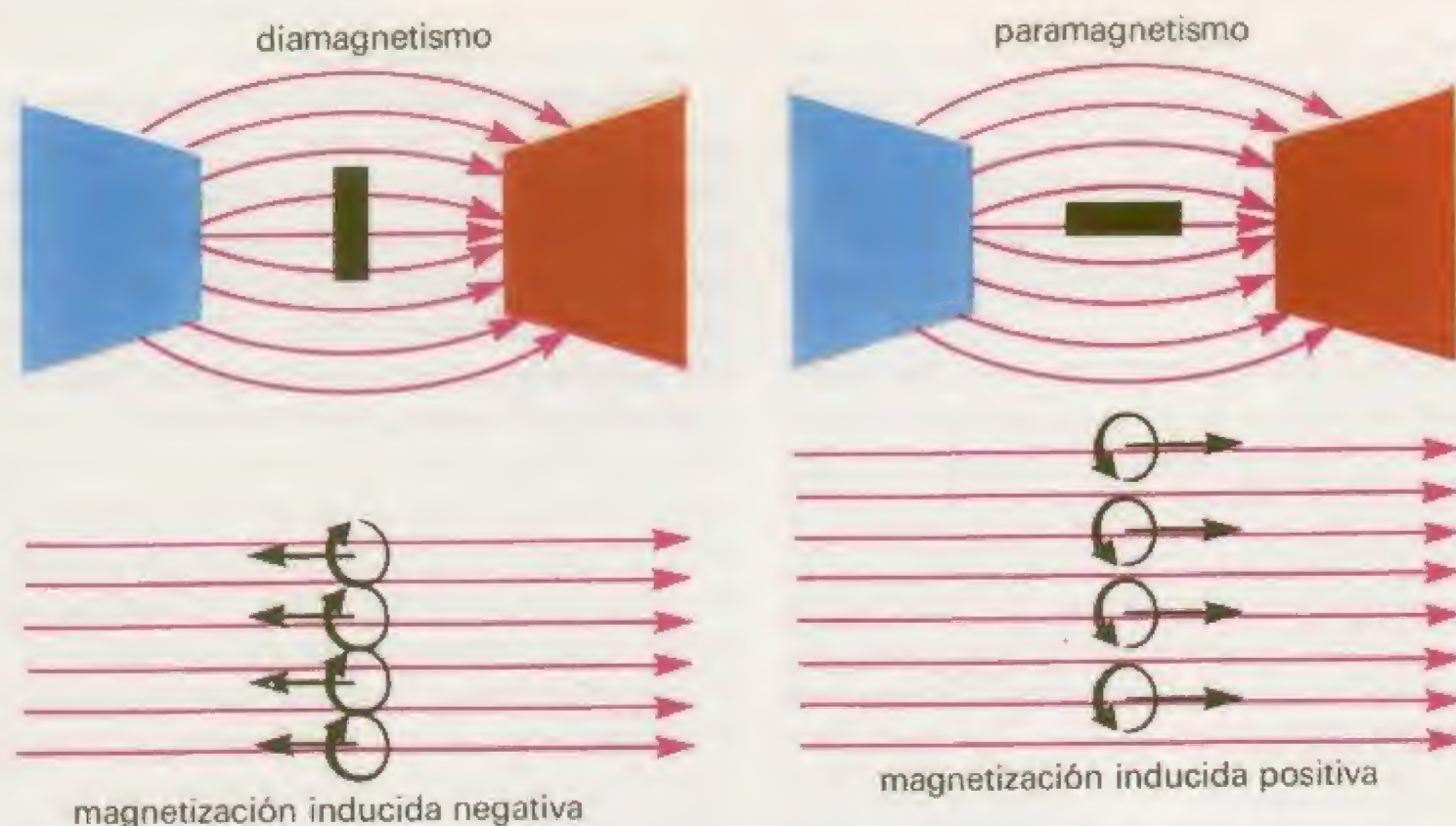
Con el montaje reproducido en el dibujo sobre estas líneas se puede repetir el experimento que realizó Oersted en 1819. Se coloca la aguja en la dirección

norte-sur del campo magnético terrestre. Sobre la aguja se extiende un hilo conductor, y con dos pinzas se conectan los extremos del hilo a una pila para que

circule por él una corriente eléctrica: la aguja de la brújula girará y se pondrá perpendicular al hilo, lo que demuestra que existe una relación muy estrecha entre

electricidad y magnetismo (la corriente eléctrica crea un campo magnético). La Tierra se comporta como un imán gigantesco, llamado "dipolo magnético",

situado en un eje que está inclinado un ángulo de 11° respecto al eje de rotación terrestre. Lo que está representado en el dibujo superior es sólo una esquematización



Los materiales diamagnéticos (arriba, a la izquierda) colocados dentro de un campo magnético intenso, se sitúan perpendiculares a las líneas de fuerza del campo (es decir, en la zona que es más débil). En cambio,

los materiales paramagnéticos (dibujo de la derecha) son atraídos hacia las zonas donde el campo magnético es más intenso, colocándose con una dirección paralela a las líneas de fuerza del campo.

gas eléctricas elementales en movimiento. De hecho cada átomo posee un determinado número de electrones, dotados de carga eléctrica, que, al girar alrededor del núcleo y sobre sí mismo, forma circuitos eléctricos microscópicos que pueden crear campos magnéticos pequeñísimos.

En la mayor parte de los materiales, los movimientos de los electrones se producen de forma que los campos magnéticos elementales se anulan unos con otros, pero en algunos materiales los electrones están situados de forma que cada átomo produce un campo magnético relativamente intenso. Este tipo de materiales se llaman *paramagnéticos* y entre ellos están el aluminio, el cromo, el manganeso, el platino y algunas aleaciones. Otros materiales, como el hierro y el níquel, reciben el nombre de *ferromagnéticos* por ser el campo magnético de los átomos especialmente intenso. Si los átomos están colocados de forma desorganizada (como en el caso del hierro no magnetizado), no se tendrá un campo magnético resultante, mientras que si se tiene una colocación ordenada y fija, se tendrá un *imán permanente*.

Para magnetizar una barra de hierro se tiene que conseguir que los electrones que giran alrededor de los núcleos se coloquen de acuerdo con una dirección determinada. Esto se puede conseguir porque los electrones son sensibles a las fuerzas creadas por campos magnéticos externos, generados por una corriente eléctrica o por otro imán permanente. Al aplicar esta fuerza externa no responden a la vez todos los electrones y su respuesta se produce por zonas, llamadas *dominios*. Bajo la influencia de una fuerza magnética débil, pocos dominios se situarán de acuerdo con la dirección correcta, pero, al aumentar la fuerza, se irán añadiendo más dominios, hasta que se hayan colocado todos y la barra esté completamente magnetizada. Si se aumenta el campo magnético externo, no se podrá obtener una magnetización mayor porque la barra está *saturada magnéticamente*.

Algunos materiales se magnetizan sólo parcialmente porque únicamente se orienta una pequeña parte de los dominios en la dirección de la fuerza externa aplicada, y su magnetización jamás podrá alcanzar la del hierro.

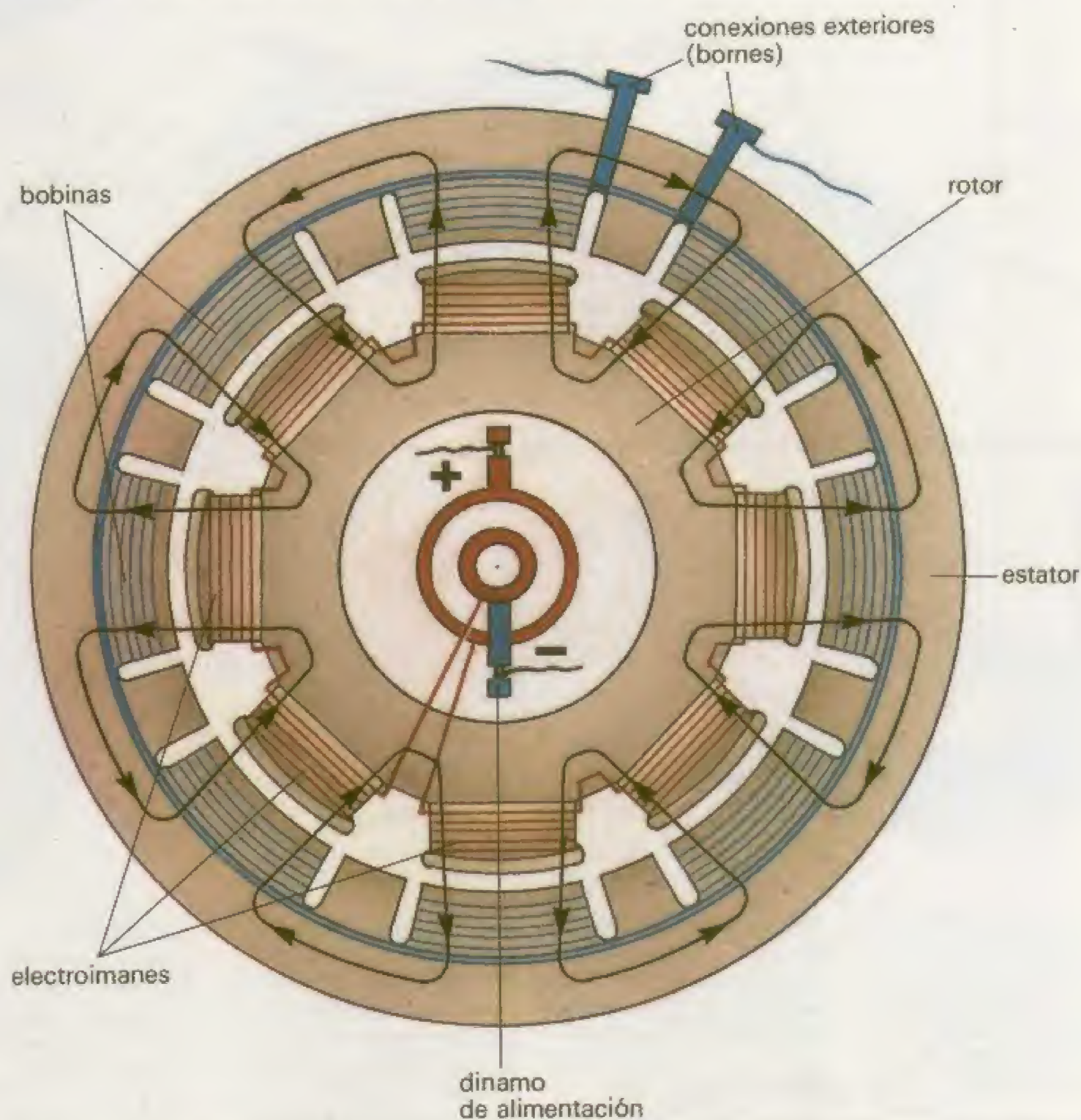
Un imán permanente es más potente si se fabrica en *alnico*, una aleación de hierro, aluminio, níquel, cobalto y cobre. Últimamente se han obtenido otras aleaciones con las que se pueden conseguir imanes más potentes.

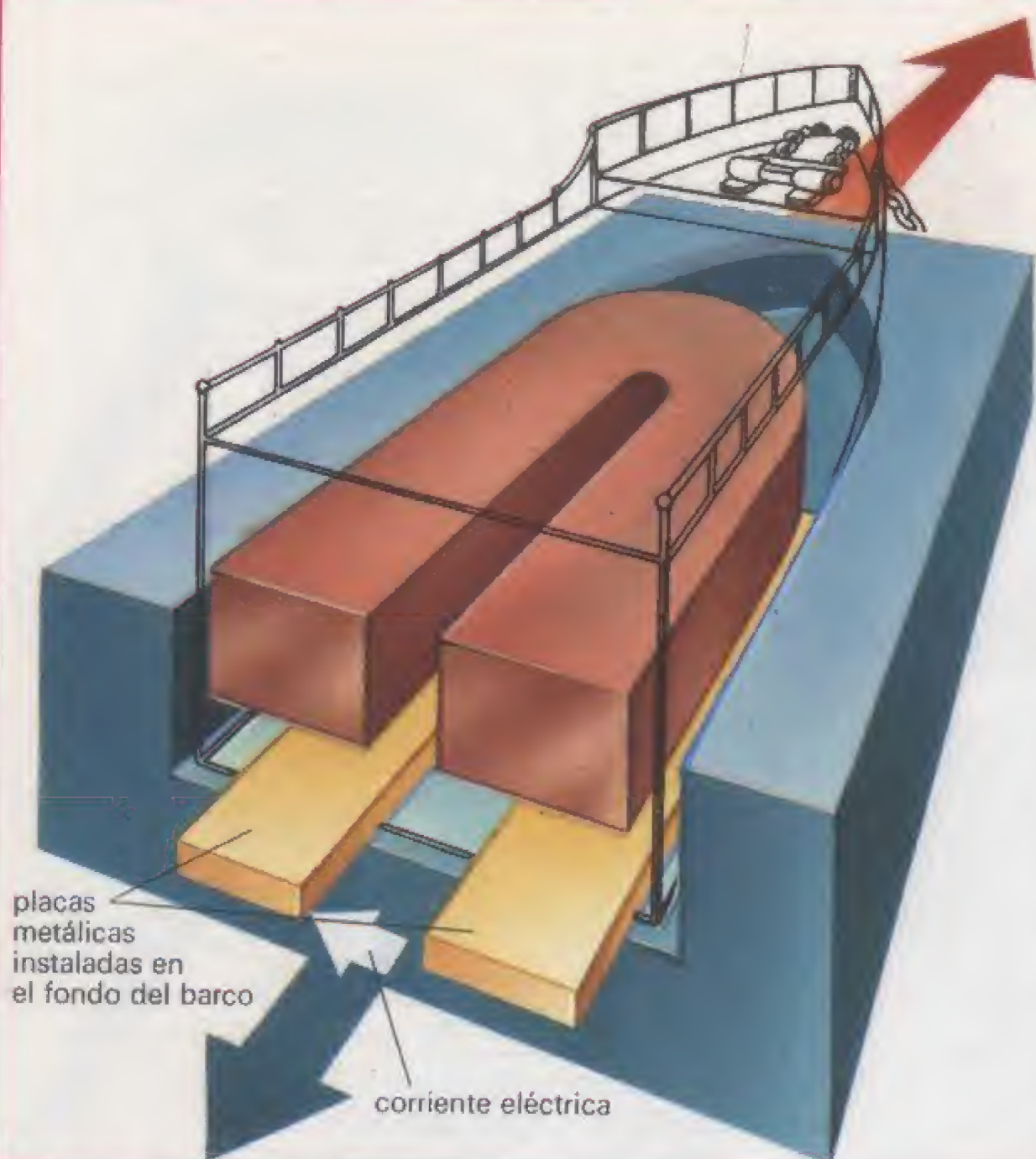
Si se sitúa una barra de material paramagnético o ferromagnético en un campo magnético de fuerte intensidad, por ejemplo colocando en suspensión con un hilo una muestra de aluminio entre los polos

de un imán en herradura, veremos cómo la muestra gira hasta ponerse paralela a las líneas de fuerza del campo, es decir, el aluminio tenderá hacia la zona donde el campo magnético es más intenso. Repitiendo el experimento con una barra de oro o de bismuto, veremos cómo se coloca en posición perpendicular a las líneas de fuerza del campo, como si el campo magnético la repeliese en vez de atraerla. Los materiales que se comportan como el oro y el bismuto se llaman *diamagnéticos*.

La mayor parte de los materiales conocidos son diamagnéticos y se comportan como si el campo magnético creado por un imán indujera en ellos una débil magnetización *negativa* (es decir, opuesta a la del imán). Esa *inducción magnética negativa* se produce también en los materiales paramagnéticos, pero en este caso la inducción es tan débil respecto a la magnetización permanente, que se anula.

El magnetismo terrestre La Tierra se comporta como un imán gigantesco y su campo magnético se puede detectar con una simple brújula. Se puede obtener más información con una *brújula de inclinación*, formada por una aguja magnetizada suspendida de un eje que permite también un movimiento de cabeceo: en el ecuador la aguja está horizontal mientras que en los polos magnéticos se coloca en dirección vertical. En las latitudes medias, la aguja se sitúa en una posición más inclinada cuanto más lejos se está del ecuador. Este fenómeno demuestra que las líneas de fuerza de un campo magnético forman un arco que sale de un polo y entra en el otro.





En Japón está en estudio un sistema de tipo electromagnético. El sistema se basa en dos placas metálicas situadas en el fondo del barco y conectadas a un generador eléctrico. Como el agua marina conduce la electricidad, entre las placas se establecerá una corriente que genera un campo magnético. Este campo se opone al campo magnético que genera un electroimán situado en el barco y en consecuencia se tendrá un empuje hacia adelante sobre el barco. La posibilidad de realizar un dispositivo así se basa en la utilización de materiales superconductores, que pueden generar campos magnéticos muy elevados sin ser demasiado pesados.

El centro de la Tierra está formado principalmente por un núcleo de hierro-níquel en estado líquido: se piensa que los pequeños desplazamientos del núcleo dan lugar al campo magnético terrestre.

Monopolo Por lo que se sabe hasta ahora, todos los imanes, por pequeños que sean, son *bipolares*, es decir, tienen siempre un polo norte y un polo sur. Sin embargo, de acuerdo con las teorías científicas, podrían existir imanes con un polo único, llamados *monopolos*. A. M. Dirac previó la existencia del monopolo en 1920. Es un concepto que tiene una importancia notable para los físicos teóricos, que intentan saber si todas las fuerzas que existen en el Universo —*gravitatoria, magnética y nuclear*— son en realidad tan distintas entre ellas como lo parecen a primera vista o, por el contrario, son sólo manifestaciones diferentes de un único tipo de fuerza. La comprobación de la existencia (o inexistencia) del monopolo podría contribuir a aclarar esta cuestión.

Véase **Brújula; Circuito eléctrico; Electromagnetismo; Magnético, campo; Magnetosfera; Paleomagnetismo**

Una aplicación práctica de la relación entre electricidad y magnetismo son los alternadores o generadores de corriente alterna (página anterior, a la izquierda). La parte móvil del alternador recibe el nombre de *rotor*, y en él están situados los electroimanes, que tienen alternativamente polos externos norte y sur. Alrededor del rotor están las bobinas (en número igual a las del rotor), situadas en el *estator* (parte fija). Cuando el rotor está girando, la sucesión de polos norte y sur delante de las bobinas induce en cada una de ellas una fuerza electromotriz alterna. Si las bobinas están conectadas en serie, la tensión que se obtendrá en los bornes de salida será la suma de las tensiones de cada una de las bobinas. A la derecha, un electroimán utilizado para transportar cargas y material de hierro en un depósito de chatarra.

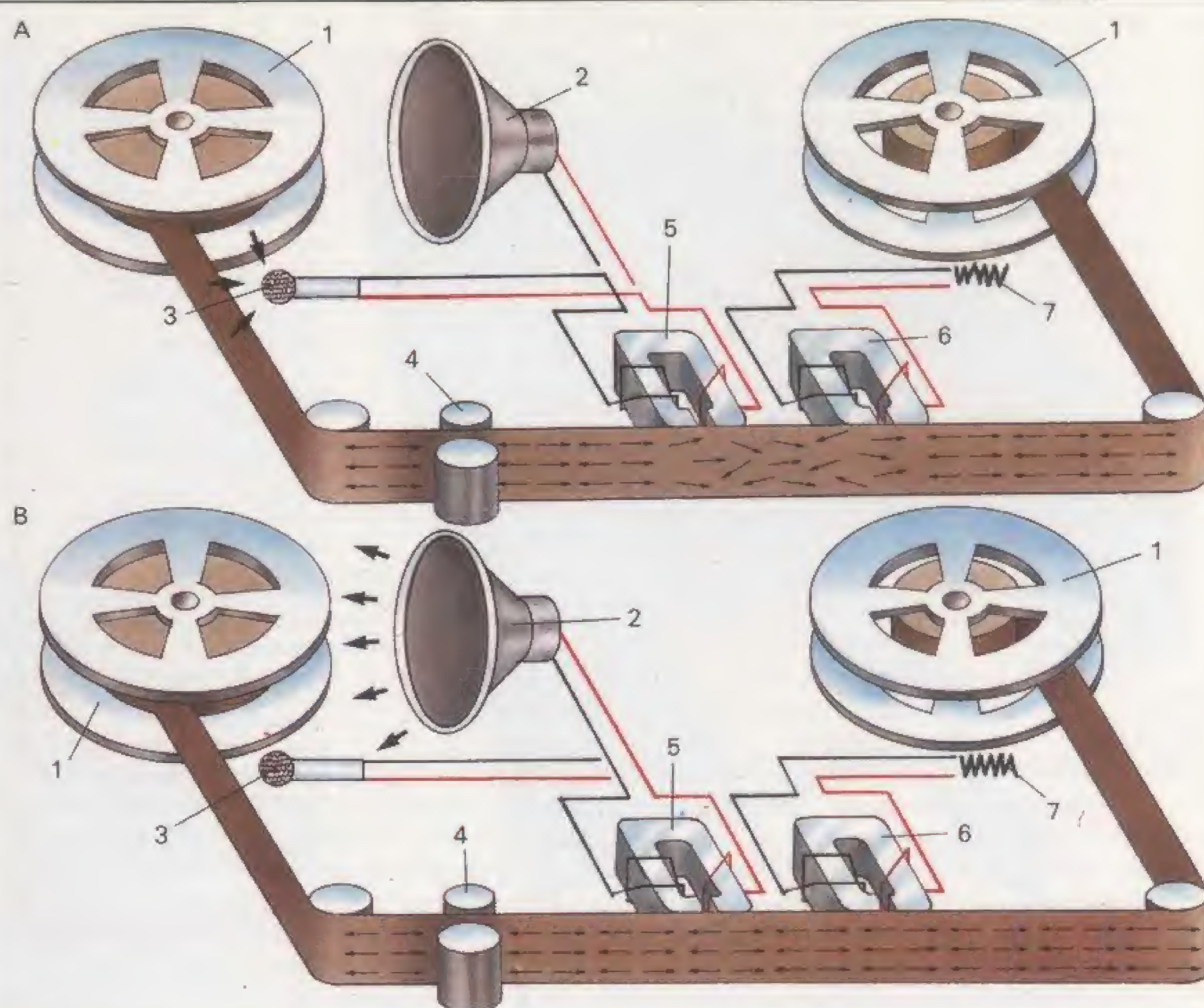


Magnetófono

Aunque los magnetófonos sean actualmente más compactos y reproduzcan los sonidos con más fidelidad, funcionan siguiendo un mismo principio básico. Las ondas sonoras se transforman en el micrófono en señales eléctricas que se pueden almacenar en forma de variaciones magnéticas en la superficie metálica de la cinta, proceso que se conoce con el nombre de *grabación*. Cuando se lee la cinta, las variaciones de magnetización se vuelven a transformar en señales eléctricas y después en sonido a través del altavoz.

El magnetófono típico está formado por una bobina receptora de cinta y por tres "cabezas", una para la grabación, otra para la reproducción y otra para el borrado. La cinta discurre en contacto con las cabezas por la tracción del *capstan*, sistema formado por una rueda de goma que presiona la cinta sobre un cilindro (el *capstan*), cuya velocidad de giro y diámetro determinan la velocidad de la cinta sobre las cabezas.

Grabación El micrófono transforma la energía acústica de las ondas sonoras en energía eléctrica, convirtiendo las vibraciones del aire (sonido) en variaciones proporcionales de corriente eléctrica. En



En las ilustraciones sobre estas líneas están representadas las fases fundamentales de la grabación en cinta magnética. (A), saliendo de una bobina, la cinta pasa sobre una cabeza de borrado que deja las partículas metálicas de la cinta magnetizadas de forma aleatoria. La velocidad de la cinta está regulada por un dispositivo de tracción

constante. La cabeza de grabación, excitada por la señal que procede de un micrófono, orienta los minúsculos imanes que están en la superficie de la cinta. En la fase de reproducción (B), la cinta grabada pasa de nuevo delante de la cabeza y las variaciones magnéticas se convierten en señales eléctricas. En la fotografía de

la izquierda, un magnetófono de bobinas, con tres cabezas, doble *capstan* y teclado con sensores. En el dibujo: 1) bobina de cinta magnética, 2) altavoz, 3) micrófono, 4) dispositivo de tracción, 5) cabezas de grabación, 6) cabeza de borrado, 7) corriente alterna de alta frecuencia, 8) cabeza que magnetiza la cinta.



el micrófono la onda sonora presiona un diafragma que se desplaza hacia adelante y hacia atrás siguiendo las variaciones de presión del aire, produciendo variaciones de corriente eléctrica creadas por la bobina que está pegada al diafragma.

La cabeza de grabación recibe la señal eléctrica amplificada y ecualizada, y la transforma en un campo magnético variable. La cabeza está formada por una bobina enrollada alrededor de un núcleo de hierro dirigido hacia la cinta, que se mueve pegada a la superficie de la cabeza. La corriente que circula por la bobina produce un campo magnético que magnetiza la cinta de la misma forma que un imán mueve un conjunto de clavos sin tocarlos. Las variaciones de corriente influyen en el campo magnético, que a su vez produce una intensidad de magnetización también proporcional sobre el punto de la cinta que en ese momento está enfrente de la cabeza.

Reproducción y borrado Para reproducir el sonido se hace pasar la cinta a la misma velocidad sobre una cabeza igual o similar a la utilizada para la grabación. Las partes magnetizadas de la cinta, al pasar delante del núcleo de hierro de la ca-

beza, hacen variar el flujo magnético (la intensidad del campo magnético) en el núcleo de hierro, generando una corriente en la bobina que una vez amplificada se transforma de nuevo en sonido mediante el altavoz.

La mayor ventaja de las cintas magnéticas sobre los discos está en que se pueden borrar y usar de nuevo. Normalmente se utiliza una cabeza similar a la de grabación para borrar la cinta. Cuando la cinta pasa sobre esta cabeza, está sometida a la acción de un potente campo magnético alterno de alta frecuencia que deja la cinta sin magnetización.

Tipos de magnetófono Los tipos de magnetófono más utilizados son los de casete, los de cinta continua de ocho pistas y los magnetófonos de bobinas. El casete está formado por una bobina desde la que se desenrolla la cinta, y otra en la que se enrolla, situadas dentro de una caja de plástico. La cinta se desliza a lo largo de las guías y asoma por un lateral de la caja para tocar las cabezas. Cuando ha llegado al final, se puede dar la vuelta a la cinta y utilizarla en el otro sentido.

Los cartuchos de ocho pistas de cinta continua, que se utilizan a menudo en los

automóviles, en los grandes almacenes y en los restaurantes para música de fondo, tienen una cinta que se desenrolla desde una bobina, pasa por la cabeza a través de una guía y siguiendo otra guía se vuelve a enrollar en la misma bobina.

Las grandes dimensiones de los magnetófonos de bobinas, unido a que éstas se colocan en el aparato más lentamente, hacen que sean menos prácticos, pero en cambio tienen mayor calidad en la reproducción del sonido. Por ejemplo, la velocidad mayor y prácticamente constante de la cinta permite una reproducción mucho más fiel.

Recientemente ha aparecido en el mercado un nuevo sistema de grabación magnética que permite usar las cintas de vídeo del sistema doméstico Beta para realizar grabaciones estereofónicas de una gran calidad. Utiliza para ello el video-grabador convencional al que se añade un procesador digital de audio. Las características técnicas que se obtienen con este sistema son similares a las que ofrece el disco compacto, o *compact disc*.

Véase **Alta fidelidad; Disco compacto; Disco fonográfico; Micrófono; Sonido**



El sistema de grabación con casete ha sustituido al de bobinas. A pesar de las limitaciones técnicas de la grabación y del sistema de tracción de la cinta que conlleva el casete, las ventajas de su comodidad y tamaño han favorecido su desarrollo. Actualmente la calidad del casete ha igualado casi a la de los magnetófonos de bobinas. El casete representado sobre estas líneas es un ejemplo de aparato profesional capaz de responder a las exigencias de calidad

necesaria para un componente de alta fidelidad. Este aparato está dotado de sistemas sofisticados para reducción del sonido de fondo de la cinta, de un selector para los distintos tipos de cinta y puede funcionar a dos velocidades de grabación y reproducción. Las mismas cintas de casete están sujetas a continuas mejoras que incluyen los puntos decisivos del recorrido de la cinta y del contacto entre la cinta y la cabeza del grabador.

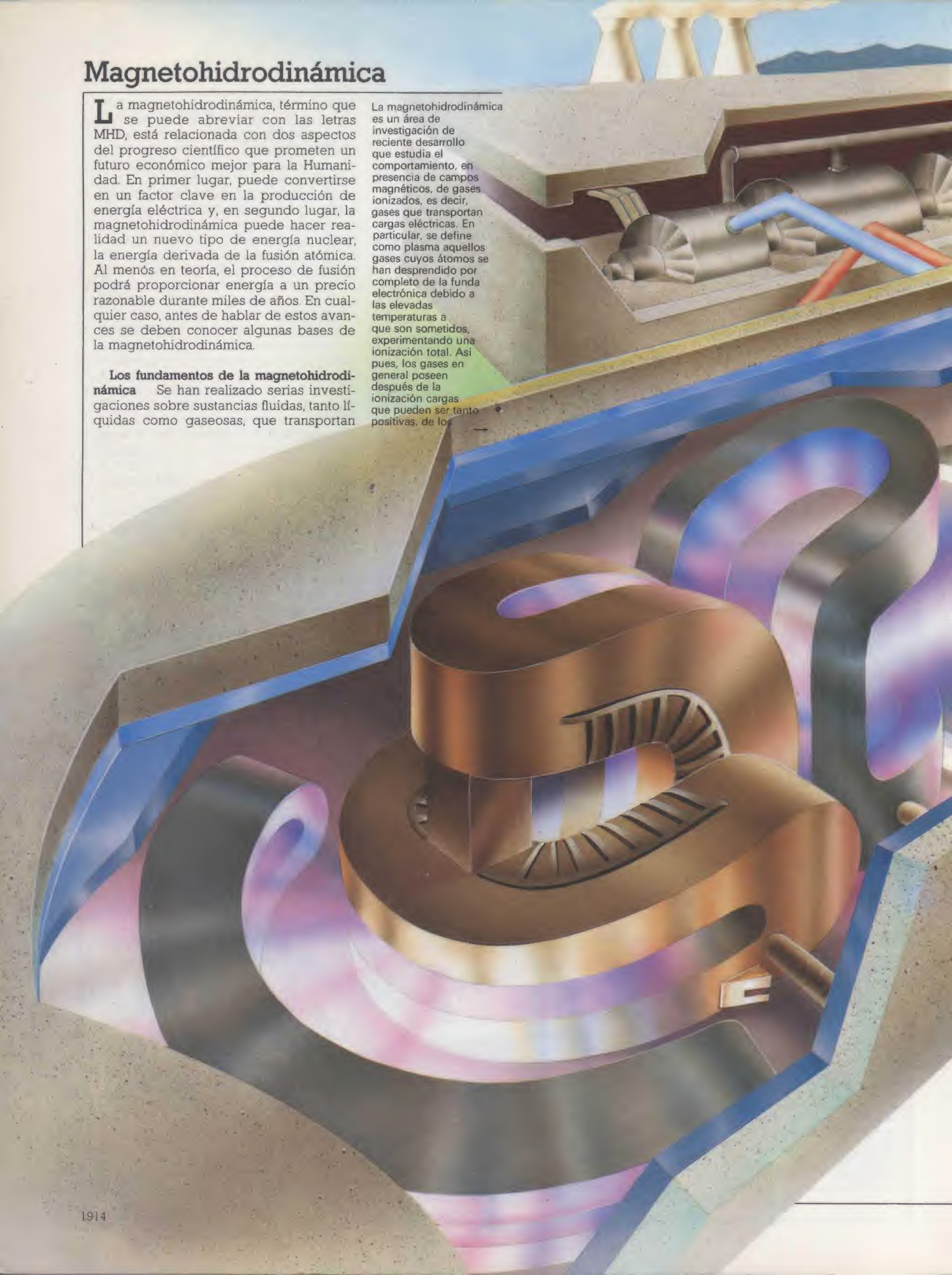


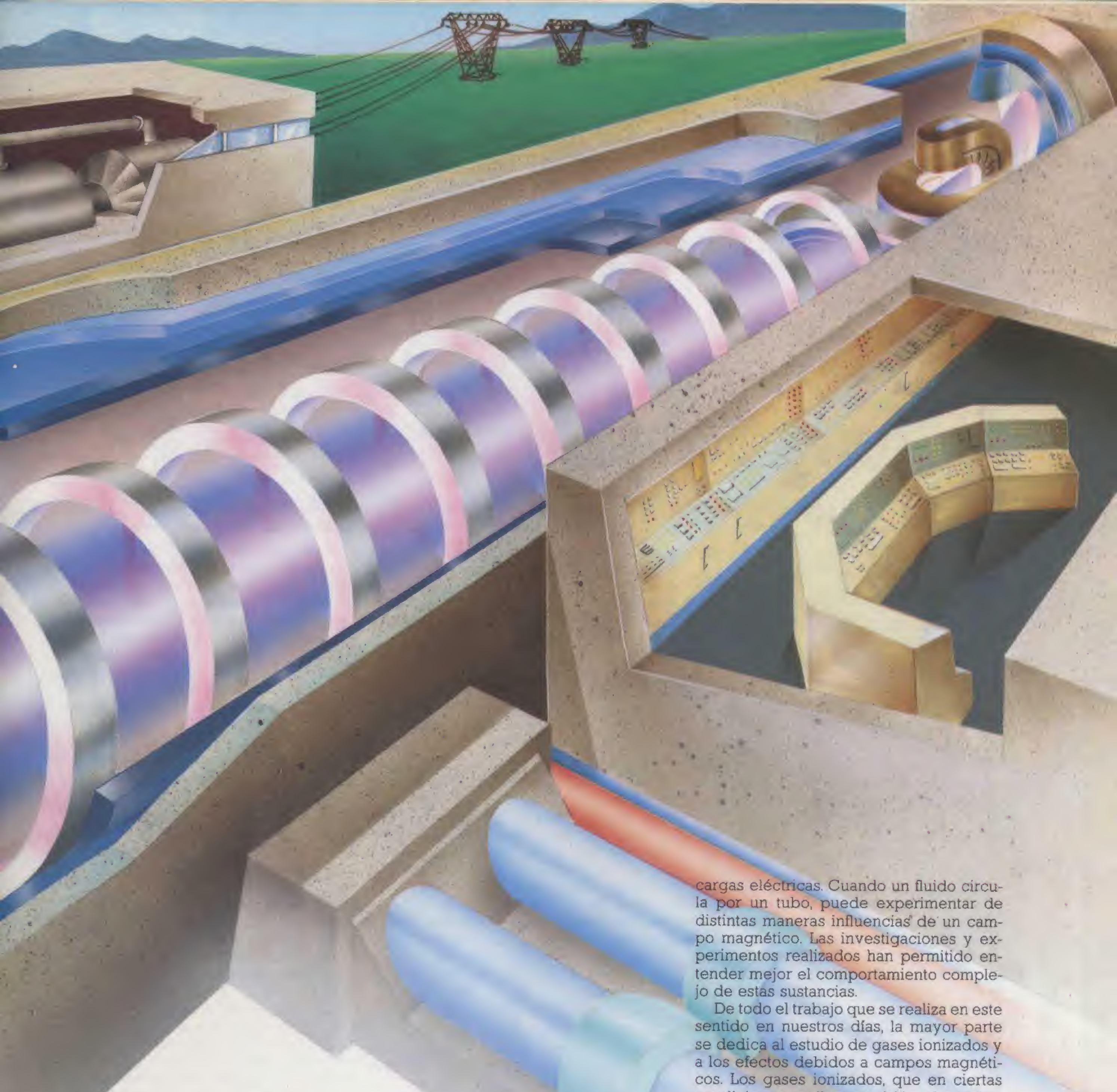
Magnetohidrodinámica

La magnetohidrodinámica, término que se puede abreviar con las letras MHD, está relacionada con dos aspectos del progreso científico que prometen un futuro económico mejor para la Humanidad. En primer lugar, puede convertirse en un factor clave en la producción de energía eléctrica y, en segundo lugar, la magnetohidrodinámica puede hacer realidad un nuevo tipo de energía nuclear, la energía derivada de la fusión atómica. Al menos en teoría, el proceso de fusión podrá proporcionar energía a un precio razonable durante miles de años. En cualquier caso, antes de hablar de estos avances se deben conocer algunas bases de la magnetohidrodinámica.

Los fundamentos de la magnetohidrodinámica Se han realizado serias investigaciones sobre sustancias fluidas, tanto líquidas como gaseosas, que transportan

La magnetohidrodinámica es un área de investigación de reciente desarrollo que estudia el comportamiento, en presencia de campos magnéticos, de gases ionizados, es decir, gases que transportan cargas eléctricas. En particular, se define como plasma aquellos gases cuyos átomos se han desprendido por completo de la funda electrónica debido a las elevadas temperaturas a que son sometidos, experimentando una ionización total. Así pues, los gases en general poseen después de la ionización cargas que pueden ser tanto positivas, de los





núcleos atómicos, como negativas, de los electrones liberados. Las fuerzas magnéticas pueden dirigir selectivamente las partículas con distinta carga eléctrica en un flujo de gas ionizado, y dichas partículas pueden recogerse a los lados del flujo con electrodos a propósito, entre los que circulará una corriente eléctrica cuando se unan a través de un circuito conductor. La magnetohidrodinámica tiene por tanto un papel importante

en el ámbito de la investigación de nuevas fuentes de energía. Las investigaciones, cada vez más intensas, se dirigen hacia el terreno de la fusión nuclear: unión de dos núcleos de un elemento para obtener un núcleo de otro elemento más pesado. Al producirse el proceso de fusión se desarrolla una cantidad de energía enorme, superior a la que se desarrolla en las reacciones nucleares de fisión y, sobre todo, mucho más

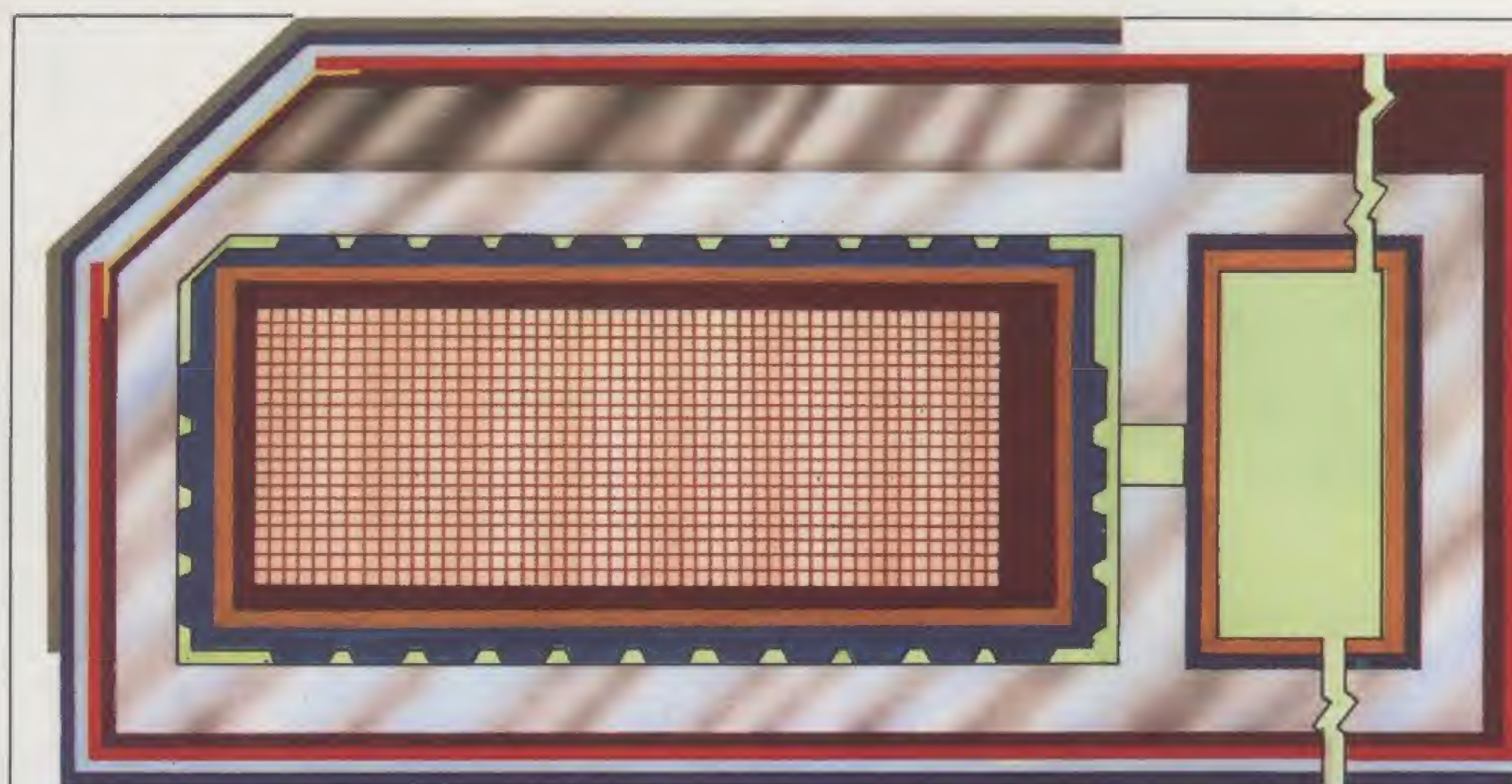
limpia. En la imagen vemos el dibujo esquemático de una de las mayores realizaciones experimentales en el campo de la fusión, como es el túnel superconductor construido en California en el Lawrence Livermore National Laboratory. Está formado básicamente por un determinado número de electroimanes circulares por cuyo interior circula el plasma. En los dos extremos del túnel,

de 24 km de longitud, hay dos electroimanes que funcionan prácticamente como espejos, reflejando el flujo de plasma e impidiendo su fuga. En la entrada se ha colocado un imán de forma especial que aplanaba el haz de plasma dejándolo como una cinta. El calor que genera el plasma se utiliza para calentar agua y producir vapor que alimenta turbinas y alternadores para la producción de energía eléctrica.

cargas eléctricas. Cuando un fluido circula por un tubo, puede experimentar de distintas maneras influencias de un campo magnético. Las investigaciones y experimentos realizados han permitido entender mejor el comportamiento complejo de estas sustancias.

De todo el trabajo que se realiza en este sentido en nuestros días, la mayor parte se dedica al estudio de gases ionizados y a los efectos debidos a campos magnéticos. Los gases ionizados, que en ciertas condiciones reciben también el nombre de *plasma*, tienen carga eléctrica. Son plasma los gases formados por átomos a los que se les han separado todos sus electrones a temperaturas muy elevadas, adquiriendo de esta forma carga eléctrica. En condiciones normales, el núcleo de un átomo retiene a su alrededor los electrones que le corresponden; pero las sustancias gaseosas se pueden calentar hasta el punto de que, debido al movimiento rápido resultante, algunos electrones se separan de sus átomos. Los núcleos tienen carga eléctrica positiva y los electrones carga eléctrica negativa.

Ahora bien, debido a que el magnetismo es un pariente cercano de la electricidad, es lógico esperar que los campos



En el proyecto del túnel de Livermore se ha elegido la utilización de circuitos superconductores, es decir, circuitos en los que la resistencia al paso de corriente eléctrica ha de ser casi nula para conseguir los grandes campos magnéticos necesarios para confinar el plasma, ya que es la intensidad de la corriente eléctrica que circula por las espiras del electroimán la que determina la intensidad del campo magnético. El dibujo junto a estas líneas representa el circuito superconductor, cuya alma es un cable de niobio-tantalio envuelto en una funda de cobre. Debido a que la superconductividad se puede mantener →

magnéticos externos influyan en los campos eléctricos que se forman en el plasma, al igual que cuando una corriente eléctrica circula por un hilo, a su alrededor se forma un campo magnético. Como se ha demostrado experimentalmente, un campo magnético que abarque un contenedor lleno de gas ionizado influye en el movimiento del gas dentro del contenedor.

Un gas ionizado en movimiento se puede controlar de varias formas. Por ejemplo, un campo magnético fuerte puede acelerar, frenar o comprimir, los átomos ionizados que lo forman. Las fuerzas magnéticas también pueden separar las partículas positivas de las negativas. Por su parte, las partículas cargadas pueden influir en el campo magnético, por lo que, resumiendo, las reacciones que se producen realizan un trabajo en ambos sentidos.

Las configuraciones de las fuerzas electromagnéticas que se influyen mutuamente pueden ser muy complejas. A pesar de ello, algunos de sus aspectos no son demasiado difíciles de comprender. Un campo magnético ejerce una fuerza que tiene una intensidad y una dirección. La intensidad es simplemente la fuerza del campo y la dirección indica hacia qué lado se

ejerce la fuerza: por ejemplo, el campo magnético terrestre tiene la dirección norte-sur. Un campo magnético artificial se puede generar en cualquier dirección porque los aparatos que lo producen pueden estar situados en cualquier posición elegida por el operador. Variaciones muy pequeñas de la intensidad o de la dirección de las fuerzas magnéticas pueden dar lugar a modificaciones en el gas ionizado.

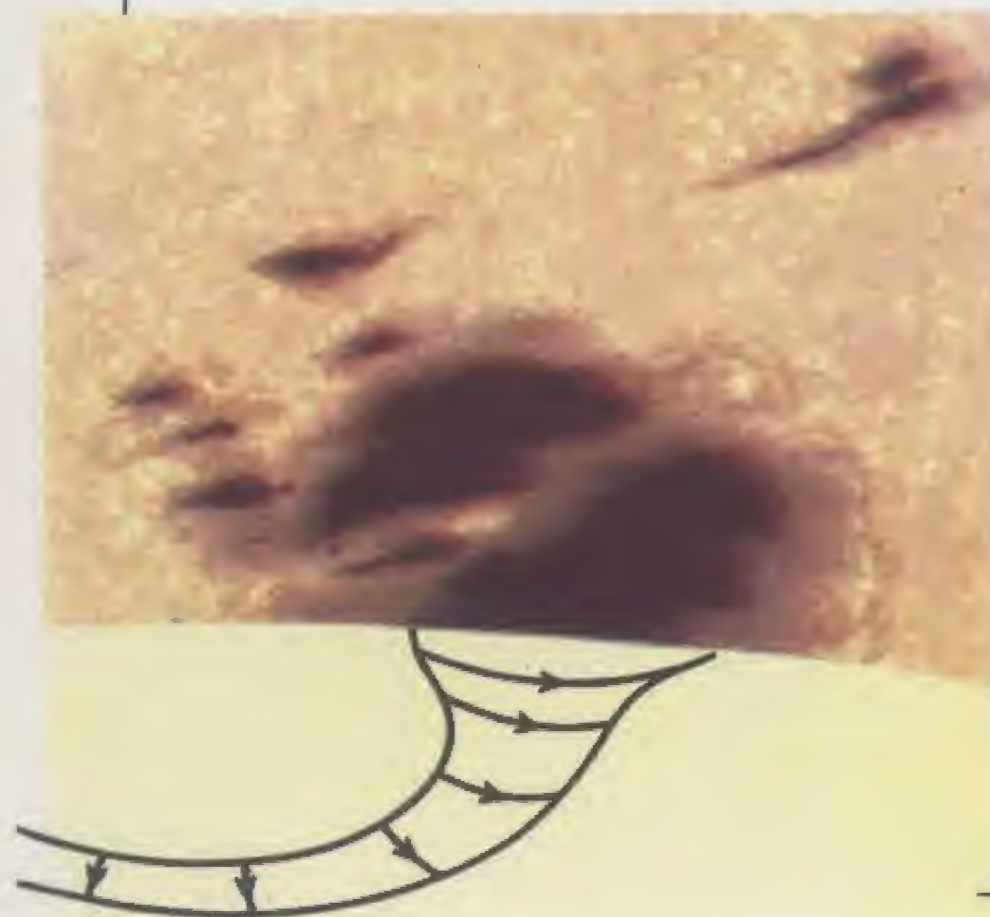
La energía eléctrica y la magnetohidrodinámica Las fuerzas magnéticas pueden separar las partículas con carga positiva de las partículas con carga negativa en un flujo de gas ionizado empujándolas hacia los lados de este flujo. Las partículas se pueden recoger en electrodos y, uniendo después los electrodos externamente con un hilo conductor, se obtendrá una corriente eléctrica continua que lo atraviesa. La magnetohidrodinámica se puede utilizar por tanto para convertir el movimiento de las partículas cargadas en electricidad.

Actualmente, los técnicos están estudiando en muchos países esta forma de obtención de energía eléctrica, intentando aportar los perfeccionamientos que

permitan su utilización con fines comerciales. Se espera que esta transformación de energía aporte numerosas ventajas debido a que los aparatos necesarios son mucho más simples que los utilizados en las centrales eléctricas tradicionales, donde están instaladas grandes calderas, turbinas, alternadores y otra maquinaria muy costosa.

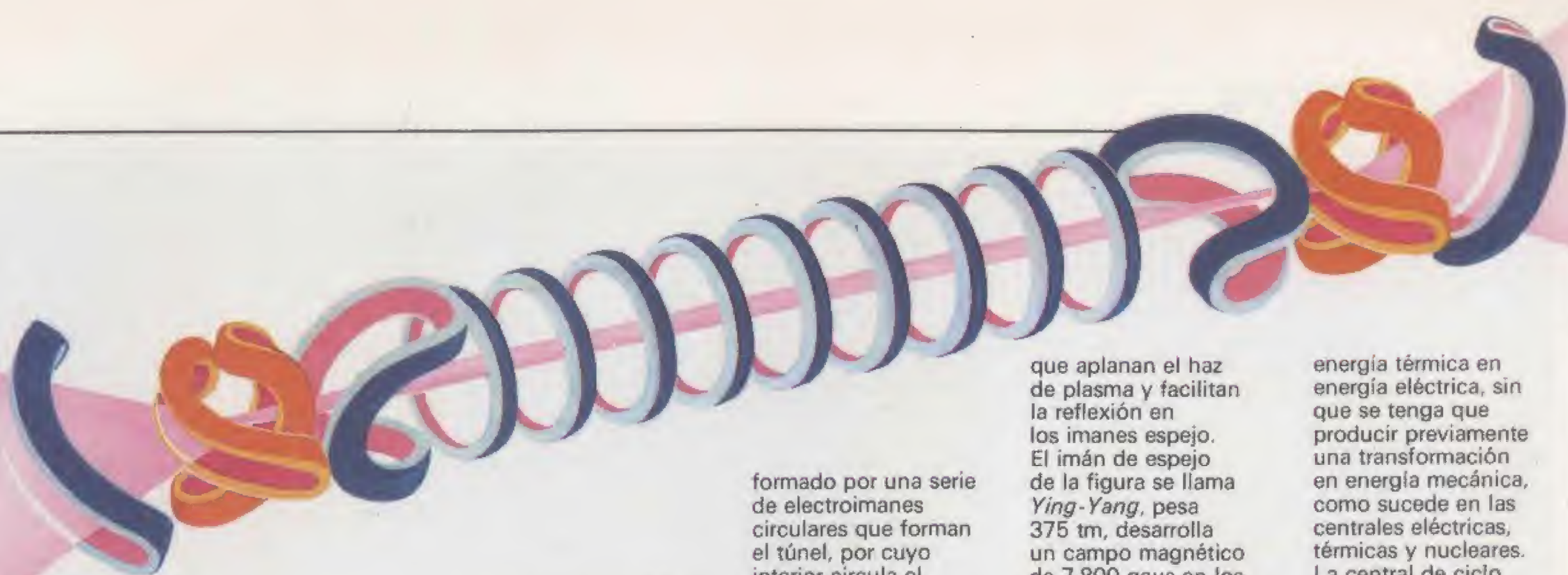
Energía de fusión La magnetohidrodinámica tiene una importancia fundamental en las investigaciones termonucleares. Las reacciones termonucleares se producen en el interior de las estrellas (como el Sol) que están compuestas principalmente de hidrógeno, el elemento más común y ligero del Universo. Todas las estrellas tienen una masa enorme y ejercen en consecuencia enormes presiones gravitatorias internas, de forma que las capas de millones de kilómetros de espesor de hidrógeno gaseoso comprimen los átomos de hidrógeno que están más internos de la estrella. La presión a que están sometidos es tan fuerte que obliga a los núcleos de los átomos a acercarse mucho entre ellos. Además, por efecto de la compresión se producen temperaturas muy elevadas, que hacen que aumente la velocidad de los átomos en su movimiento constante. En estas condiciones, si las colisiones entre ellos se producen en la forma adecuada, con una fuerza determinada y con un tiempo de contacto lo suficientemente largo, los núcleos se quedan juntos originándose un núcleo nuevo, formado por dos protones, que corresponde al átomo de helio. Este proceso, denominado de *fusión nuclear*, es el que ocurre continuamente en el interior de las estrellas.

A pesar de todo, el átomo de helio que nace no tiene exactamente el mismo peso que los dos átomos de hidrógeno que lo han formado. Una pequeña parte de materia se pierde y se transforma directamente en energía, de acuerdo con la famosa ecuación de Einstein $E=mc^2$. Esta



Las manchas solares aparecen con especial abundancia cada once años y, si se considera la polaridad de las manchas, es decir, su migración de una polaridad norte a una polaridad sur, se obtiene un ciclo de 23 años, aproximadamente el doble del anterior. Las manchas solares son fenómenos relacionados con la presencia de campos magnéticos. Una teoría basada en la magnetohidrodinámica explica que las manchas son la base de un remolino de gas

en el que se reconocen no sólo el campo magnético, sino también la presencia de polaridades opuestas en los extremos de un único remolino. Las reacciones termonucleares son los procesos que se producen en el interior de una estrella, como puede ocurrir, por ejemplo, en el Sol, en cuyo interior la presión obliga a que los átomos se acerquen unos a otros de tal forma que los núcleos pueden llegar a unirse, produciendo un núcleo más pesado.



→ sólo con temperaturas muy bajas, las espiras de la bobina están rodeadas de canales para que circule helio líquido, capaz de mantener la

temperatura por debajo de -250°C , muy próxima, por tanto, al cero absoluto. En el dibujo sobre estas líneas se han representado de forma esquemática las partes básicas de un reactor de fusión de reflexión magnética. Está

formado por una serie de electroimanes circulares que forman el túnel, por cuyo interior circula el plasma. En los extremos podemos ver los imanes espejo que reflejan casi completamente el plasma que reciben e impiden su dispersión. Justo delante de los dos imanes espejo están montados dos imanes de preparación

que aplanan el haz de plasma y facilitan la reflexión en los imanes espejo. El imán de espejo de la figura se llama *Ying-Yang*, pesa 375 tm, desarrolla un campo magnético de 7.800 gaus en los bordes, y de 20.000 gaus en el centro, y tiene un radio exterior de casi tres metros. Estos datos, junto con la longitud total del túnel, de 24 km, dan una idea de lo compleja que es la realización. El esquema inferior reproduce los principios de una central de producción de energía eléctrica, con un convertidor magnetohidrodinámico de ciclo abierto. Este convertidor se utiliza para transformar directamente la

energía térmica en energía eléctrica, sin que se tenga que producir previamente una transformación en energía mecánica, como sucede en las centrales eléctricas, térmicas y nucleares. La central de ciclo abierto prevé la dispersión del gas en la atmósfera a través de una chimenea; se extrae asimismo calor con un intercambiador para una instalación de tipo tradicional, con turbina. El corazón del sistema es el electroimán, que tiene que funcionar a temperaturas muy bajas, próximas al cero absoluto, para poder producir los intensísimos campos magnéticos necesarios sin que la corriente encuentre una excesiva resistencia.

energía se libera en forma de gran velocidad de las partículas formadas y de ondas electromagnéticas —los rayos gamma— que son muy energéticas y tienen una longitud de onda muy corta. En definitiva, esta energía produce una gran cantidad de calor, que se propaga hacia los átomos más externos. Todas las estrellas tienen temperaturas muy elevadas y brillan por efecto de estas reacciones de fusión nuclear.

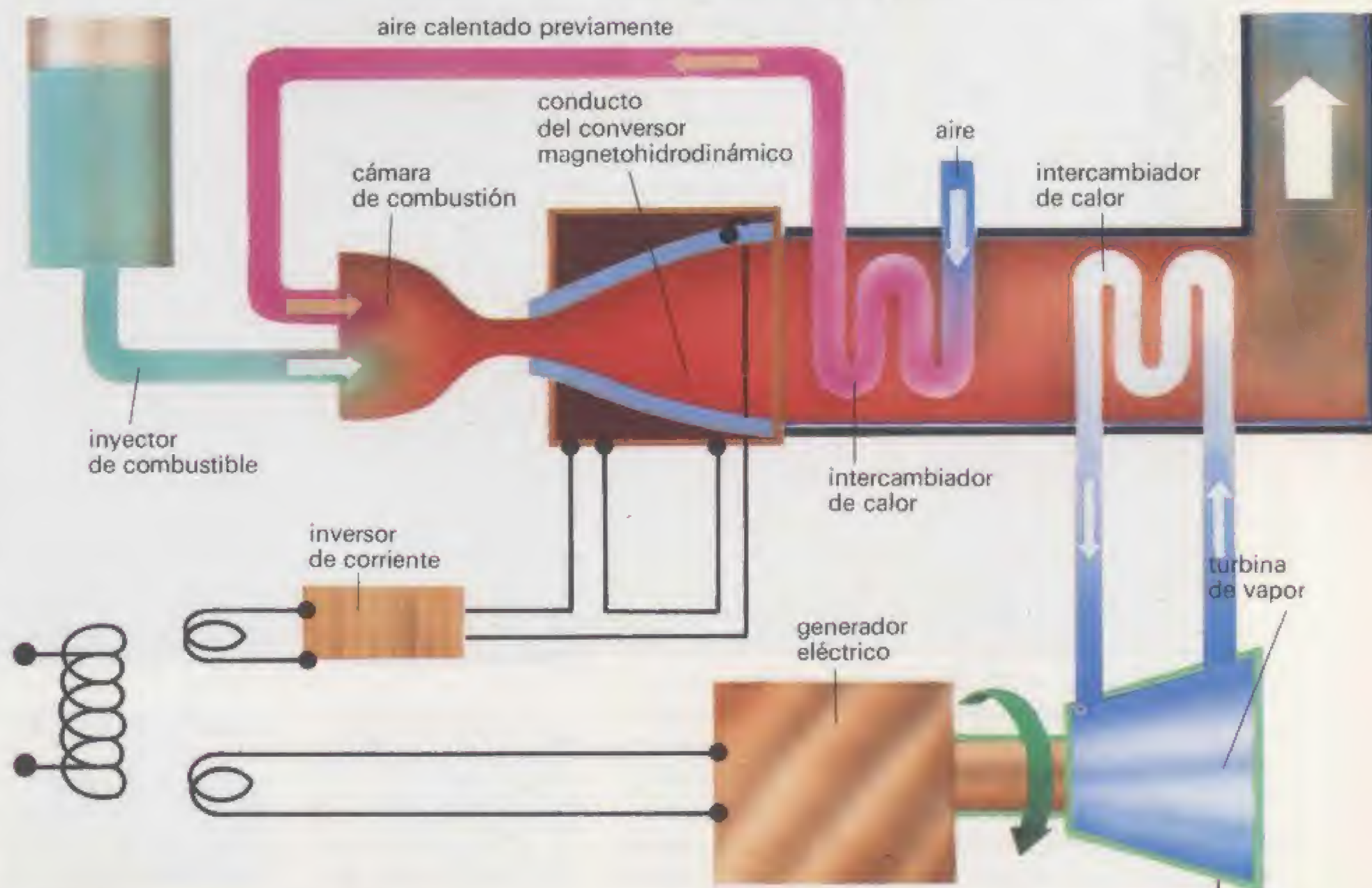
Las actuales centrales nucleares desarrolladas para producir energía eléctrica se basan en el principio de fisión nuclear. La energía de fisión se produce rompiendo los grandes e inestables átomos de determinados elementos, como el uranio. El calor producido en el proceso se utiliza para hacer hervir agua y el vapor generado mueve las turbinas y los alternadores, que producen la energía eléctrica. Los átomos residuales de la fisión (*fragmentos de fisión*) son isótopos radiactivos. La energía de fusión tiene como principales ventajas frente a la de fisión el que la primera necesita sólo hidrógeno como combustible, que se puede obtener a partir del agua de los océanos, y, a pesar de producir algunos residuos radiactivos, tiene como principal subproducto el helio. Sin embargo, los científicos que intentan reproducir con fines industriales el proceso de la fusión nuclear se encuentran con multitud de problemas y, aunque se está trabajando ya en este campo desde hace varios decenios, los avances progresan de una forma muy lenta. Un logro importante ha sido mantener el plasma de hidrógeno confinado en el interior de un recinto que recibe en nombre de *tokamak*. Un *tokamak*, que tiene aproximadamente las dimensiones de una casa pequeña, tiene una cavidad en forma de rosquilla a la que se adapta la masa del plasma de hidrógeno por medio de campos magnéticos fortísimos. Induciendo también corrientes eléctricas elevadas en el plasma circulante, se le puede controlar desde el exterior con mantenerlo circulando de forma con-

finada en la cavidad, sin contacto con las paredes de la misma que se vaporizarían a tan altas temperaturas. El calentamiento del gas ionizado se consigue con las mismas corrientes eléctricas. Para que los núcleos se fundan unos con otros, la temperatura tiene que ser superior a los diez millones de grados centígrados y, para conseguir en el interior de un *tokamak* una reacción de fusión automantenida, es necesario alcanzar temperaturas de, por lo menos, cien millones de grados centígrados.

Así pues, cuando las fuerzas magnéticas comprimen el plasma y las fuerzas eléctricas lo calientan, algún núcleo de hidrógeno choca con otro núcleo, se funde con él, forman un átomo de helio y liberan energía en forma de calor y radiación gamma. En los experimentos realizados hasta el momento se han conseguido pe-

queños éxitos: algún núcleo de hidrógeno se ha fundido con algún otro núcleo formando unos pocos átomos de helio, pero la reacción ha sido tan pequeña que el calor liberado habría podido servir solamente para calentar una cacerola llena de agua. Es en la década actual cuando se espera que entren en funcionamiento grandes máquinas de fusión que consigan por primera vez el proceso de fusión automantenida.

Véase **Fisión nuclear; Fusión nuclear; Plasma**



Magnetosfera

Las sucesivas capas de la atmósfera que envuelven la Tierra se ven a su vez rodeadas por una región del espacio llamada *magnetosfera*, por ser gobernados los fenómenos físicos que en ella tienen lugar por el campo electromagnético terrestre. Sus fronteras son imprecisas. Generalmente se considera como límite inferior la altura de 120 km sobre la superficie del planeta, altura a partir de la cual la influencia del campo magnético terrestre sobre los iones existentes es superior a los efectos colisionales entre ellos. Para muchos estudiosos, sin embargo, la altura se fija entre 1.000 y 2.000 km, zona en que las colisiones son ya despreciables, dejando las alturas inferiores dentro del estudio de la ionosfera. Tampoco existe un criterio unificado para señalar el límite superior de la magnetosfera, que se extiende por el espacio condicionado por las interacciones Sol-Tierra.

En los primeros kilómetros de la atmósfera, los procesos de mezcla, que tienen su origen en la turbulencia y los vientos, hacen que la composición química del aire permanezca prácticamente inalterada. Así, aunque a medida que se asciende su densidad disminuye rápidamente, la proporción de moléculas de hidrógeno, oxígeno, argón, etc. permanece básicamente constante. Por encima de 80 km, sin embargo, las moléculas se van distribuyendo de acuerdo con su peso, de forma que las más ligeras se sitúan en regiones más alejadas de la superficie. A estas alturas la radiación ultravioleta solar es muy intensa, provocando disociaciones de las moléculas en átomos. Estos a su vez emiten un electrón cuando interaccionan con radiación solar de una energía mayor que su potencial de ionización, cargándose positivamente. Esta región, en donde coexisten partículas cargadas eléctricamente positivas y negativas (plasma), se conoce como *ionosfera*, y se extiende desde los 60-80 km hasta unos 600-1.000 kilómetros.

Partículas en la magnetosfera Si se sigue ascendiendo, se alcanza la magnetosfera, formada de plasma compuesto principalmente por protones y electrones y por iones procedentes de la ionosfera. Su forma, dimensiones y comportamiento están totalmente condicionados por un flujo continuo de partículas emitidas por el Sol, conocido como *viento solar*. Si este flujo no existiese, la configuración de la magnetosfera respondería exclusivamente a la del campo magnético terrestre, con el plasma de la parte superior de la ionosfera difundiéndose en el espacio exterior. La situación real no es en absoluto ésta. El viento solar induce corrientes eléctricas que provocan una compresión del campo terrestre. A su vez, la fuerza ejercida por el propio campo terrestre sobre las corrientes inducidas obliga al viento solar a cambiar de dirección, "bordeando" la atmósfera de la Tierra. La superficie imaginaria donde el viento solar cambia abruptamente de dirección se conoce como *frente de choque*, y aquella a partir de la

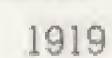


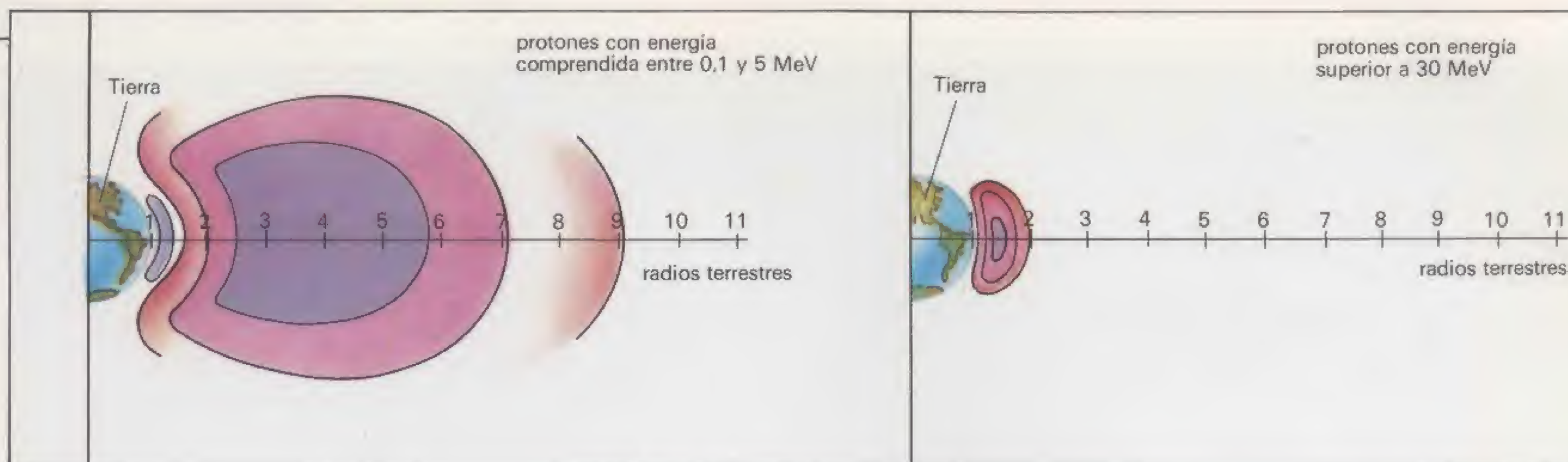
En la ilustración que ocupa las dos páginas pueden verse con cierta claridad los fenómenos citados: así, se muestra la magnetosfera terrestre

(coloreada en rojo) (1) dentro de una representación general del Sistema Solar. El gran escudo azul (2) que rodea a la magnetosfera por el

lado del Sol es la pantalla magnética que obliga a desviarse al viento solar (3). Aproximadamente sobre la órbita de Mercurio (órbita más

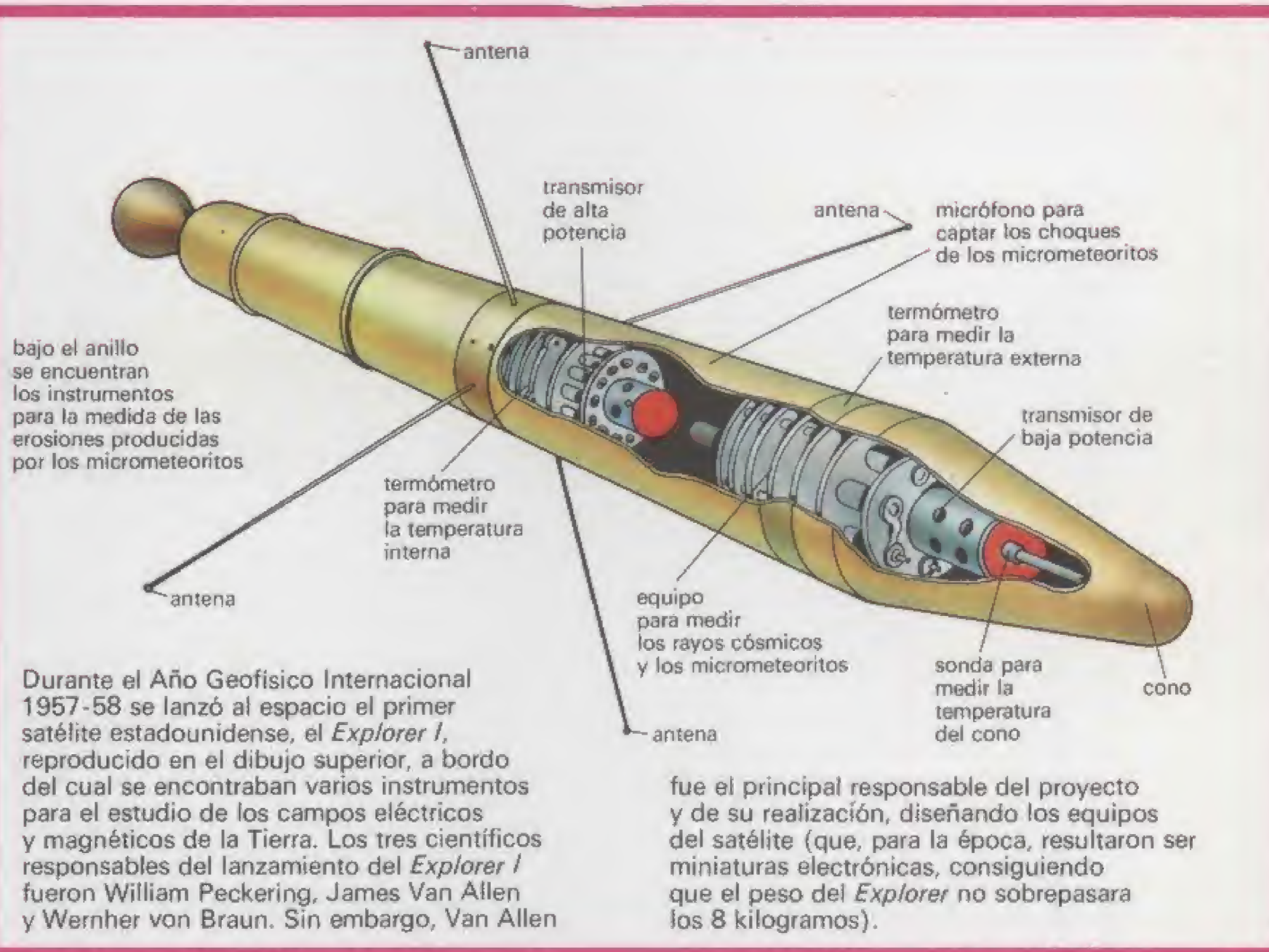
interior y trazada en verde) puede verse también el satélite *Helios*, que fue lanzado para realizar observaciones de la magnetosfera y del





En los dibujos sobre estas líneas se muestran las posiciones ocupadas respectivamente por los protones de baja (1) y alta (2) energía y por electrones de baja (3) y alta (4) energía. La unidad de medida utilizada para las distancias desde la Tierra es el radio terrestre (unos 6.370 km). Como puede verse, los protones quedan atrapados en el campo magnético en zonas del espacio más cercanas a la Tierra que los electrones. Las zonas ocupadas por los electrones y por los protones forman dos cinturones de radiación denominados *de Van Allen* (exterior e interior) en honor a su descubridor. La cantidad de partículas energéticas que los forman es tan elevada que constituye un peligro para los astronautas que deben atravesarlos.

Las dos fotografías de la página siguiente muestran el fascinante espectáculo de las auroras polares. Aunque normalmente reciben el nombre de *auroras boreales*, conviene recordar que el término exacto es *polares*, ya que el fenómeno se manifiesta tanto en la zona ártica (boreal) como en la antártica (austral), al norte y al sur del paralelo 55. Estos fenómenos se producen generalmente a alturas comprendidas entre 100 y 130 km, pero no son raros los casos en que aparecen entre 400 y 1.000 km. Las bandas luminosas que caracterizan a las auroras polares pueden tomar coloraciones variadas (verde, rojo, violeta, amarillo, etc.), según la forma que tengan (bandera, cortina, rayos, bandas, corona, etcétera).



cual no penetran las líneas de flujo del viento solar constituye la *magnetopausa*. Entre ellas existe una región de turbulencia donde las partículas se mueven con un movimiento irregular.

Esquemáticamente, la magnetosfera presenta una forma semiesférica en su lado más próximo al Sol y aproximadamente cilíndrica en el opuesto, sin límites definidos. En su interior se encuentran partículas atrapadas por el campo magnético terrestre.

Así pues, la magnetosfera actúa como pantalla de las radiaciones solares, protegiendo a la Tierra de los efectos de las partículas cargadas emitidas por el Sol.

El viento solar La corona está formada por plasma totalmente ionizado, principalmente protones y electrones que son acelerados por una serie de procesos físicos, hasta que son expulsados al exterior. El flujo, que se extiende en todas las direcciones, viaja a una velocidad de 300 km/s y se va dispersando a medida que se aleja del Sol. Cuando alcanza la Tierra, la densidad es pequeña (de tan sólo 5 pro-

tones y 5 electrones por centímetro cúbico), pero suficiente para condicionar la forma de la magnetosfera.

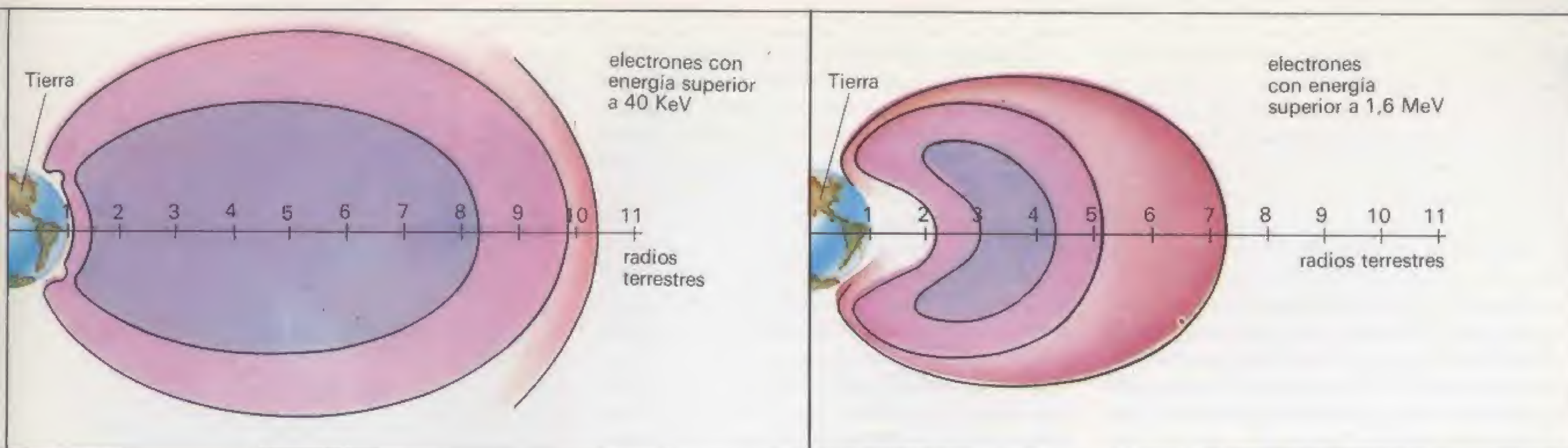
Aunque la emisión del viento solar se produce de manera continua, su intensidad varía con el tiempo, de igual manera que todas las radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. Se han encontrado máximos, relacionados con el período de rotación del Sol, de 27 días, y con los períodos de las *manchas solares*, de una duración de 11 años.

Las auroras Además de las mencionadas fluctuaciones periódicas del viento solar, ocurren perturbaciones en la superficie del Sol que lanzan al espacio partículas en una mayor cantidad y a una velocidad muy superior (900 km/s). Cuando estas oleadas de partículas alcanzan la magnetosfera, dan lugar a una súbita modificación del campo magnético, conocida como *tormenta magnética*. Las partículas con mayor energía pueden atravesar la magnetopausa, quedando una gran cantidad de ellas atrapada en el interior de la magnetosfera y siendo confinada —por

efecto del campo magnético terrestre— a las regiones polares, desde donde se precipita hacia la superficie de la Tierra.

En su camino, a alturas comprendidas entre los 1.000 y los 100 km, las partículas interactúan con las moléculas y los átomos constituyentes de la atmósfera, excitándolos y obligándolos a emitir fotones de luz en cantidades tales que producen una iluminación perfectamente visible a simple vista en el cielo nocturno. Desde los orígenes de la Humanidad este fenómeno ha despertado el miedo y la curiosidad, atribuyéndosele orígenes mágicos o considerándolo como augurio de catástrofes.

La aparición de las auroras tiene lugar —por la propia configuración del campo terrestre— en las regiones subpolares, con un máximo de intensidad en un anillo a 23° alrededor del polo norte magnético, y extendiéndose hasta latitudes de 55°, aunque en algunos casos de extrema actividad se han observado a latitudes tan bajas como el Mediterráneo o México. Sus formas son variables con el tiempo, y se asemejan a franjas luminosas curvadas. La



han encontrado que rocas con determinada antigüedad se encontraban polarizadas en sentido contrario al que les correspondería con el campo actual. Este hecho hace pensar que han existido periódicas inversiones de los polos y, por tanto, del sentido del campo. La intensidad disminuiría hasta anularse, creciendo posteriormente en sentido inverso, con el polo norte en el sur geográfico y viceversa. De acuerdo con esta hipótesis, en los últimos 76 millones de años se habrían producido 171 inversiones de polaridad. La duración de estos períodos es muy variable, con una media aproximada de 420.000 a 480.000 años por inversión.

Nadie puede asegurar lo que ocurriría si el campo magnético se anulara, pero lo que sí es seguro es que a la Tierra le faltaría la magnetosfera, y por lo tanto la pantalla de protección ante la llegada del viento solar, que alcanzaría la atmósfera en grandes cantidades, interrumpiendo las comunicaciones de radio y produciendo unos resultados imprevisibles para la vida sobre el planeta.

Véase **Campo magnético; Magnetismo; Paleomagnetismo; Sol**

parte más espectacular del fenómeno dura apenas unos pocos minutos, aunque la aurora suele durar alrededor de media hora, permaneciendo posteriormente una claridad en el fondo del cielo.

La inversión del campo magnético terrestre El campo magnético de la Tierra, cuyo origen se desconoce, no permanece constante en el tiempo. Los polos sufren unas migraciones bien conocidas por los marinos, que deben cada año corregir sus tablas de navegación para una correcta orientación. También la intensidad total del campo varía con el tiempo. En la actualidad está disminuyendo de valor año a año en unas cantidades en absoluto despreciables. Durante el siglo pasado, por ejemplo, la disminución fue del 5% del valor total; por lo que cabe suponer que, si continúa a este ritmo, el campo puede llegar a anularse.

Para avalar esta hipótesis, los geólogos, utilizando la propiedad de las moléculas de las rocas magmáticas de orientarse según las líneas de fuerza del campo magnético en el momento de la solidificación,



Maíz

El maíz es una de las principales contribuciones de América al resto del mundo. Este cereal, desconocido en Europa y Asia hasta la llegada de Colón al Nuevo Mundo en 1492, es actualmente el más cultivado después del trigo y el arroz. Su producción anual supera los 200 millones de toneladas, incrementándose cada año esta cifra. Aunque el maíz consumido directamente en la alimentación humana constituye sólo una pequeña parte de la producción total, su transformación en otros productos hace de él la planta más importante como fuente alimentaria del mundo occidental.

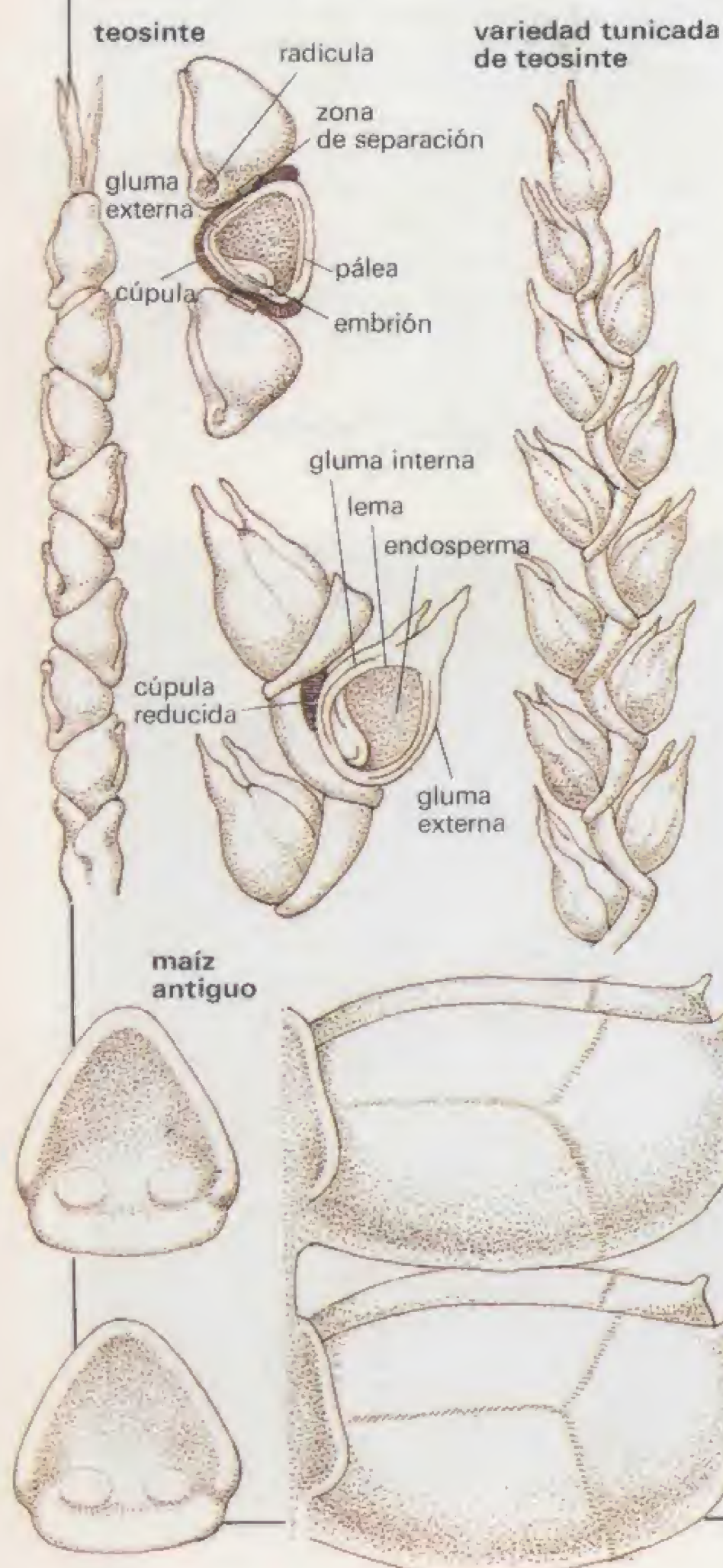
El maíz se cultiva en la mayoría de las áreas templadas y tropicales del mundo, adaptándose a las diferentes condiciones climáticas debido a la gran cantidad de variedades existente. La domesticación de este cereal ha sido tal, que la planta no podría ya sobrevivir en condiciones naturales por no disponer de un mecanismo adecuado para la dispersión de las semillas. Si se dejara germinar una mazorca de maíz entera, se produciría gran cantidad de plantas y tan próximas unas a otras que no crecería ninguna, por lo que el hombre debe separar los granos para sembrarlos.

Orígenes Determinar el origen y seguir la evolución de cereales como el trigo, la cebada o el arroz, resulta bastante sencillo debido a que es posible encontrar las especies silvestres de las que derivaron. Sin embargo, no existe ninguna especie silvestre que se parezca al maíz actual (*Zea mays*), aunque es evidente que de alguna tuvo que surgir. Una de las hipótesis más aceptadas sostiene que el maíz procede de una especie conocida como *teosinte*, que crece de forma espontánea en México, Guatemala y Honduras. Esta planta se diferencia del maíz en que tiene varios tallos que nacen de la base, mientras que el maíz actual muestra normalmente sólo uno. Las semillas del teosinte están contenidas en pequeñas cápsulas que forman una hilera única de seis a diez granos; esa hilera correspondería a la mazorca del maíz.

Los cruces entre el teosinte y el maíz dan como resultado una planta intermedia y de descendencia fértil, lo cual indica que la relación entre ambos es muy estrecha. No obstante, existen hipótesis sobre el origen del maíz diferentes de la que acabamos de ver. Uno de los principales argumentos en su contra es que el teosinte, al tener semillas de cáscara dura, no podría servir de alimento al hombre primitivo. Sin embargo, éste pudo colocar los granos en el fuego para que estallaran, al igual que ocurre con los del maíz.

El maíz más antiguo conocido data de unos 7.000 años: fue encontrado en unas cuevas del suroeste de Estados Unidos y en el valle de Teotihuacán, en México. Cada una de las generaciones de hombres que habitaron aquellas cuevas fue dejando restos de los granos con que se

que han desembocado en las formas más recientes de la misma especie, y con la hibridación se ha logrado el maíz gigante. A la izquierda, un mutante tunicado del teosinte y una sección de sus semillas. Abajo, semillas del maíz antiguo y del actual.





espiga estéril



espiga fértil

Proceso mediante el cual se obtienen híbridos de enorme productividad (como se puede ver bajo estas líneas) y panochas de grandes dimensiones. Se parte (arriba) de cuatro especies obtenidas por cruzamiento, llamadas respectivamente A, B, C y D. A las plantas B y C se les impide la emisión de polen cortando sus flores,

de modo que B será polinizada por A, y C por D, ya que sólo estas plantas tienen capacidad polinizadora. Nacen así unas panochas capaces de proporcionar cruzamientos más válidos en lo que se refiere a la productividad: basta con repetir la operación otra vez con los cruzamientos que indicamos con $A \times B$ y

$C \times D$. También en este caso se impide polinizar a una de las dos plantas, y al final se obtiene una nueva semilla $(A \times B) \times (C \times D)$. Esto da lugar a una panocha gigante de la que se puede aprovechar la semilla con fines comerciales. Pero el híbrido, sin la intervención del hombre, es incapaz de sobrevivir.

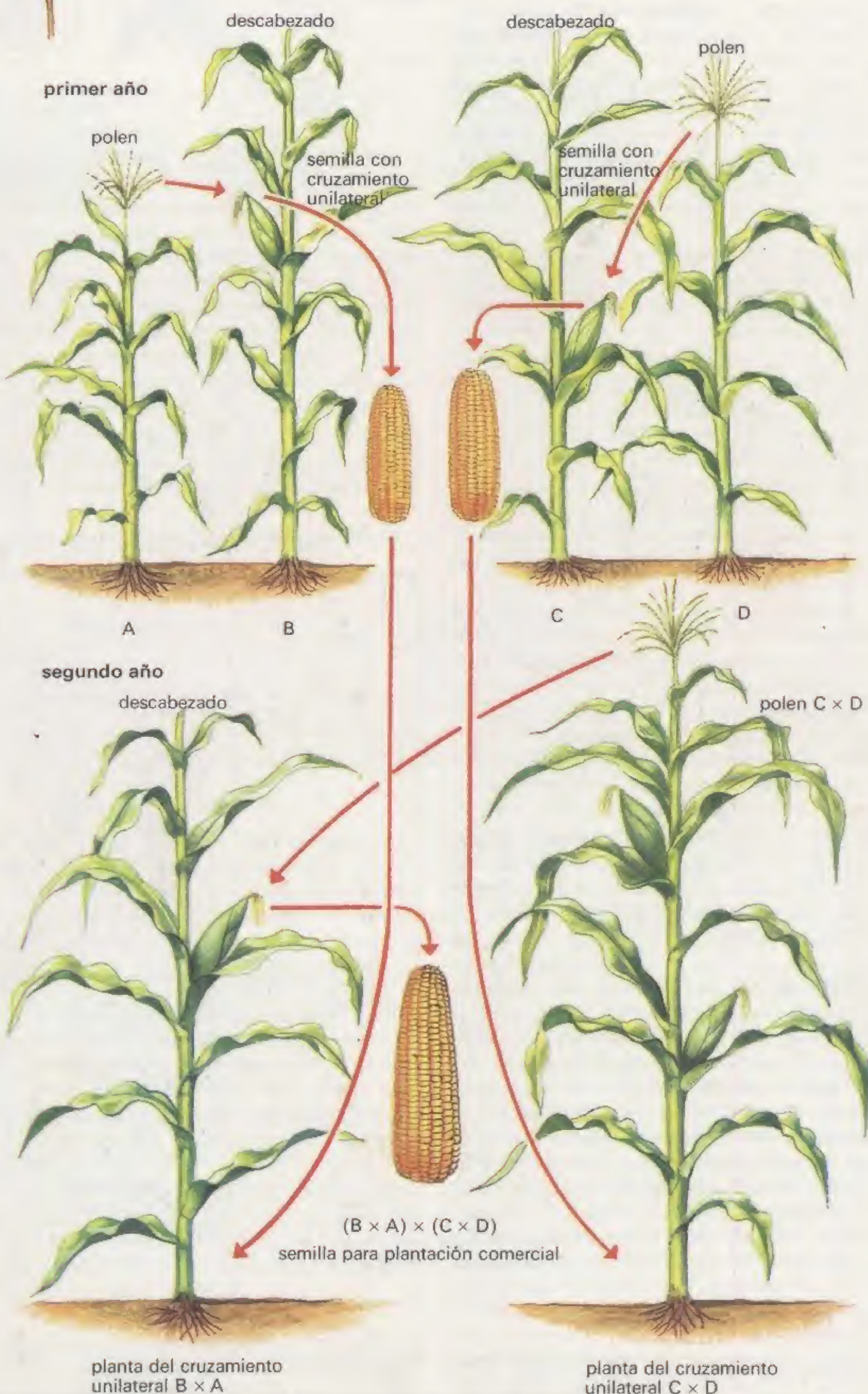
alimentaban, que quedaron perfectamente estratificados; los zuros (centro de la mazorca) encontrados en los distintos estratos revelan una secuencia de cambios en el maíz, producto de su domesticación por el hombre. Estos zuros miden aproximadamente 3 cm de longitud y tienen unos 50 ó 60 granos, es decir, todavía mantienen más parecido con el teosinte que con el maíz. Sin embargo, maíces de antigüedades comprendidas entre 1.400 años antes de Cristo y 1.400 años después, constituyen una línea evolutiva continua desde el teosinte hasta el maíz actual.

El fenómeno de los híbridos La producción de maíz ha aumentado enormemente en el último siglo gracias al progreso tecnológico, unido al desarrollo de la Genética, los insecticidas y los fertilizantes. Una de las principales causas del incremento de la producción es la creación de híbridos entre las distintas variedades del maíz.

Cuando el maíz se cultiva en áreas relativamente aisladas y las semillas se guardan para la siembra siguiente, el resultado es un aumento de la consanguinidad, y después de varias generaciones el vigor y los rendimientos descienden. Sin embargo, si se cultivan otras variedades en campos adyacentes, se producen hibridaciones entre ellos y las nuevas generaciones muestran un mayor vigor. A veces, las espigas producidas por esos cruces son pequeñas y no utilizables para siembras posteriores, pero producirán abundante polen que se diseminará ampliamente debido a la altura y vigor de las plantas. Algunos de los descendientes de esos retrocruzamientos serán maíces de calidad, con una mayor producción de grano que puede aumentar en las generaciones sucesivas. De esta forma, el maíz se rejuvenece por medio de la producción de híbridos de alto rendimiento.

En algunos lugares de México donde el maíz y el teosinte se cultivan juntos, los genes de ambos se intercambian con una baja frecuencia, pero regularmente, debido a lo cual mantiene el vigor híbrido.

HIBRIDACION



Malaria

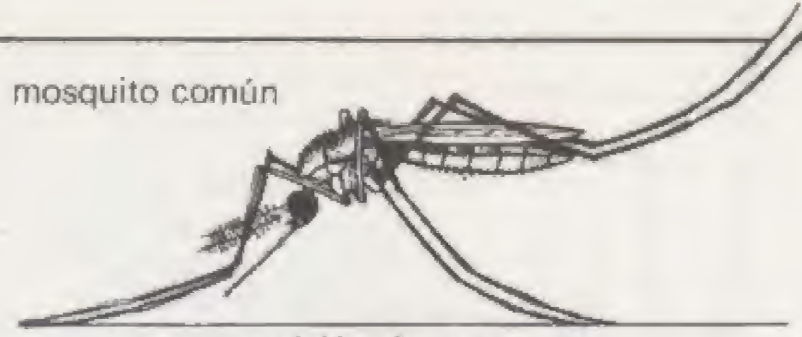
Durante siglos la malaria o paludismo ha constituido un gravísimo problema para la Humanidad. Esta enfermedad fue descrita por vez primera por Hipócrates en el siglo V a. de C. El término *malaria* deriva del italiano *mal aria*, ya que se pensaba que su causa residía en los aires malsanos de los pantanos y cenagales. Actualmente se sabe que esta enfermedad infecciosa, uno de cuyos síntomas principales es la fiebre, está causada por pequeños protozoos del género *Plasmodium*, parásitos de los mosquitos, que la transmiten con su picadura.

Cómo se transmite la malaria La malaria afecta al hombre y a algunos animales. Da lugar a fiebres intermitentes con escalofríos y sudoración y en algunas ocasiones puede ser mortal. Con frecuencia se difunde de forma epidémica, y se piensa que puede haber sido la causa de la desaparición de algunas civilizaciones antiguas. La malaria está originada por parásitos —organismos que dependen de otros para su supervivencia y que obtienen refugio y nutrición de la especie huésped, causándole graves daños— unicelulares, o protozoos, llamados *plasmodios*. En los seres humanos, estos animales microscópicos —antes de invadir el hígado, el bazo y la médula ósea— experimentan un breve período de incubación y posteriormente afectan a los glóbulos rojos de la sangre. En ellos se multiplican produciendo entre 6 y 24 nuevos individuos (llamados *merozoitos*) por cada célula. Los glóbulos rojos se rompen como consecuencia de esta invasión, dejando libres los merozoitos que invaden otros glóbulos rojos.

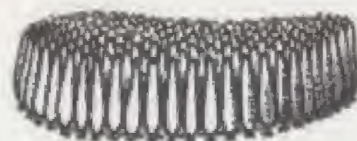
Cuando las hembras de los mosquitos del género *Anopheles*, las únicas portadoras del parásito de la malaria, pican a un ser humano afecto de paludismo para extraerle sangre, el parásito se transmite del hombre al mosquito. El parásito se desarrolla en el intestino del mosquito, desde donde se desplaza hacia las glándulas salivales. Posteriormente, el parásito será inyectado directamente a través de la piel en la sangre de un nuevo huésped humano picado por el mosquito, donde alcanzará el hígado y otros órganos, dando de nuevo comienzo a otro ciclo.

Síntomas de la malaria Los síntomas de la malaria están estrechamente relacionados con el ciclo vital antes descrito. Durante el período de incubación no se desarrollan síntomas evidentes; este período puede durar entre 1 y 4 semanas o incluso más, tiempo durante el cual se multiplican los plasmodios para posteriormente difundirse en la sangre. En ella los parásitos invaden los glóbulos rojos y se multiplican. Unos 10 días después, los parásitos, que en ese momento son muy numerosos, se liberan nuevamente al plasma sanguíneo; ello origina graves síntomas a la persona afecta, debido a que producen toxinas. El ataque comienza con un "estadio frío", en el que se producen escalofríos

mosquito común



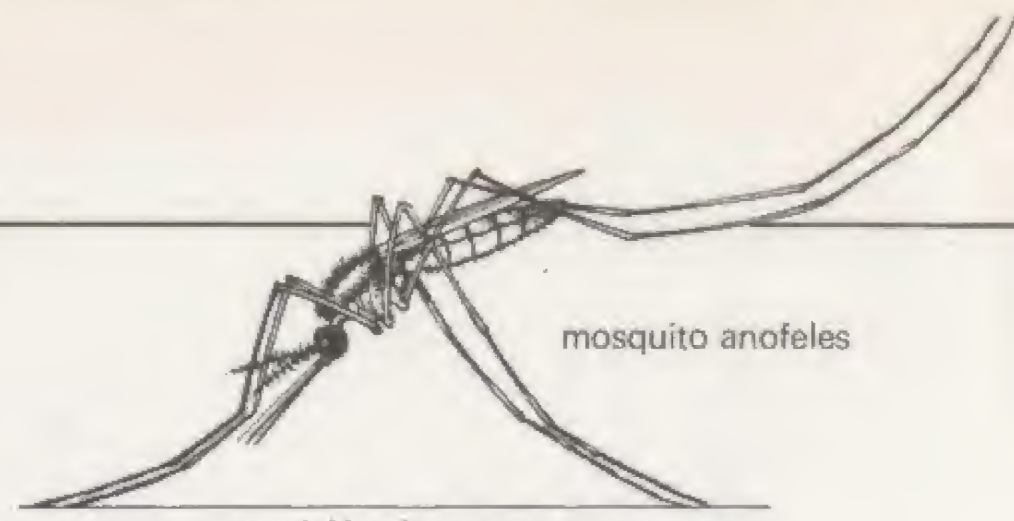
posición de apoyo



disposición de los huevos

Diferencias existentes (en las posiciones de apoyo, y en la disposición de los huevos y de las larvas) entre el mosquito común y el anopheles. Abajo, las

mosquito anopheles



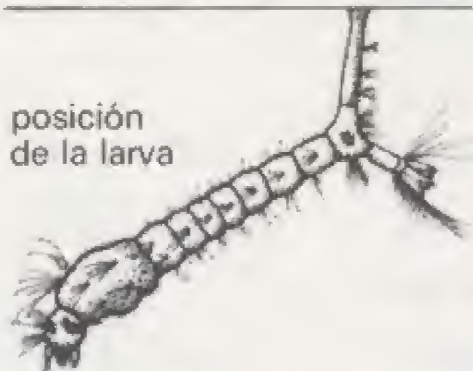
posición de apoyo



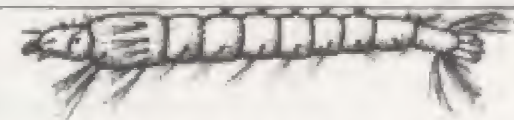
disposición de los huevos

características diferenciales de los parásitos del paludismo. En la página siguiente, en el centro, gráfica de la fiebre terciana debida al *Plasmodium vivax*.

posición de la larva



posición de la larva






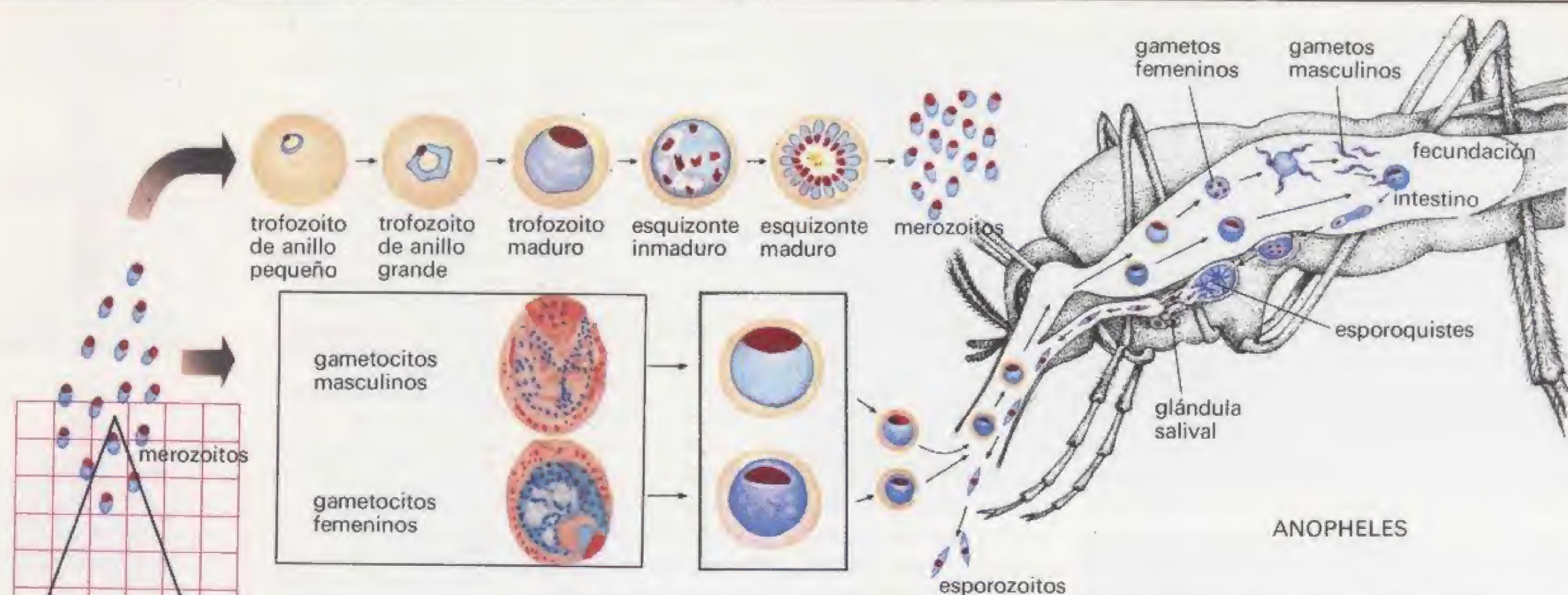
y temblores, seguido, después de una hora, por un "estadio caliente" caracterizado por sensación de calor, piel seca, fortísimo dolor de cabeza y fiebre, pudiendo llegar la temperatura corporal hasta los 42 °C. A continuación, al cabo de unas dos horas, se produce un "estadio de sudoración", caracterizado por abundante sudoración y por una temperatura normal. En esta fase el paciente se siente bien, aunque con debilidad y atontamiento. Al final de un acceso de este tipo, el organismo puede estar todavía poblado por millones de parásitos. La frecuencia de los accesos

palúdicos depende del estado de salud del paciente y del tipo de paludismo. En una población que cuenta con muchas personas portadoras de malaria en estado latente, la enfermedad llega a ser endémica, con un alto riesgo de epidemias frecuentes.

Tipos de malaria Cada especie distinta de *Plasmodium* origina un tipo particular de paludismo. En el paludismo causado por el *Plasmodium vivax* —que origina la fiebre terciana— o por el *Plasmodium ovale* —que da lugar a una fiebre ter-

CARACTERISTICAS DIFERENCIALES DE LOS PARASITOS DE LA MALARIA

	<i>Plasmodium vivax</i>	<i>Plasmodium malariae</i>	<i>Plasmodium falciparum</i>
			
merozoitos	redondos, ricos en finos gránulos de pigmento; dimensiones de un glóbulo rojo o incluso mayores	redondos, ricos en finos gránulos de pigmento; dimensiones inferiores a las de un glóbulo rojo	raros en la sangre periférica
esquizontes jóvenes	redondos y numerosos	esféricos, escasos	frecuentes las formas en semiluna
esquizontes adultos	al comienzo forma de anillo, después amebiforme	al comienzo forma de anillo, después no es rara la forma en cinta	forma de anillo pequeño con halo citoplasmático habitualmente delgado, a veces con dos bloques de cromatina; a menudo se encuentran dos pequeños anillos o incluso más por glóbulo rojo
gametos	16-20, dispuestos en roseta en torno al pigmento central	8-12, dispuestos regularmente en margarita en torno al pigmento central	raros en la sangre periférica

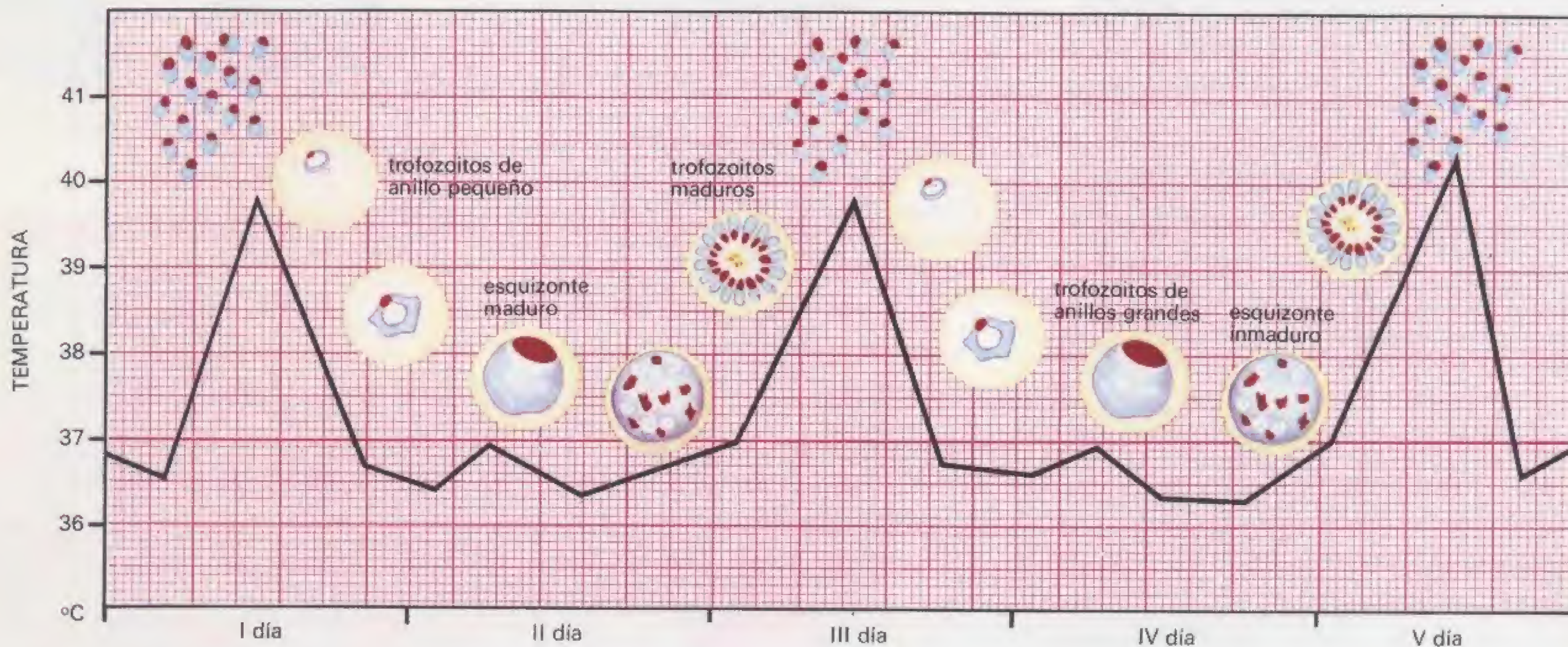


Arriba, representación de los distintos estadios del desarrollo del ciclo asexual del *Plasmodium vivax* (parte superior) y de los distintos estadios

de desarrollo del ciclo sexual del mismo parásito. La fiebre recurrente de la malaria está estrechamente relacionada con

el ciclo reproductivo asexual del *Plasmodium*: en efecto, cuando el glóbulo rojo se rompe y se ponen en circulación los merozoitos, se produce

una elevación de la temperatura y, por tanto, la fiebre experimenta una subida máxima. El ciclo se repetirá cada 48 horas.



ciana muy similar a la anterior—, el período de incubación dura entre 6 y 8 días y el primer ataque se verifica a los 14 días de la picadura del mosquito. El ciclo escalofrío-fiebre se repite cada 48 horas en ambos casos. El *Plasmodium malariae* provoca la fiebre cuartana, y tiene un período de incubación que varía entre los 13 y los 16 días, con ataques cada 72 horas, más largos y más graves que los provocados por la fiebre terciana benigna. El *Plasmodium falciparum* es el causante de la malaria estivo-otoñal o paludismo pernicioso tropical, que presenta un período de incubación de 5 a 7 días, con fiebres altísimas que no siguen un ritmo regular. El *Plasmodium falciparum* puede afectar algunos órganos, como el cerebro, causando delirio, coma y el fallecimiento después de algunas horas del primer acceso.

Tratamiento La terapéutica de la malaria consiste en la administración de fár-

macos antipalúdicos derivados de las aminoquinoleínas. Desde el siglo XIX la quinina viene siendo utilizada tanto para aliviar los síntomas de la malaria como con fines preventivos en las zonas en las que la enfermedad es endémica. Actualmente el fármaco más difundido es la cloroquina, que debe ser tomada regularmente según dosis semanales por las personas que viajan a zonas en las que han sido declarados casos de paludismo. Este y otros medicamentos son extremadamente eficaces en la prevención y en el control de esta enfermedad.

Los individuos que han padecido el paludismo desarrollan una inmunidad residual frente a éste, sobre todo si los agentes causales han sido el *Plasmodium vivax* o el *Plasmodium malariae*.

Profilaxis del paludismo La mayor parte de los intentos efectuados para erradicar el paludismo ha tenido como obje-

tivo la eliminación del mosquito portador de la enfermedad. Los pantanos en los que estos insectos se multiplican han sido desecados o recubiertos de petróleo para destruir las larvas. Los primeros insecticidas utilizados fueron el arsenito de cobre, el piretro y el DDT. Sin embargo, el DDT ha mostrado ser nocivo para otros animales y para algunas plantas y es peligroso para el medio ambiente; además, los mosquitos han sido capaces de desarrollar resistencias a este insecticida. En la actualidad las medidas adoptadas van dirigidas, por un lado, a la protección de los sujetos que habitan la zona endémica y a la esterilización de los reservorios humanos, y, por otro, al saneamiento de los países afectados, para librarlos del mosquito *Anopheles*.

Véase **Enfermedades infecciosas; Enfermedades tropicales; Fiebre; Parásitos**

Malformaciones congénitas

Los niños recién nacidos pueden venir al mundo con distintos tipos de malformaciones congénitas: recordemos, por ejemplo, los niños que padecen la enfermedad azul (tetralogía de Fallot), nacidos con malformaciones estructurales en el corazón, y los niños de la talidomida, que nacían con malformaciones en los miembros originadas por el mencionado fármaco ingerido por sus madres durante el embarazo. Esos defectos congénitos están originados por multitud de causas, que abarcan desde la herencia genética y las lesiones cromosómicas hasta la posición del feto durante la vida intrauterina y los factores ambientales. De las malformaciones congénitas forman parte también las anomalías de un órgano —en su totalidad o de una parte del mismo— contraídas por el niño durante el embarazo, aunque mucho de lo que sucede durante la vida fetal continúa siendo un misterio.

Las causas Muchas malformaciones congénitas tienen un origen genético. Uno de los progenitores puede ser portador de cierto gen dominante, como es el caso de la acondroplasia —una transformación anómala del cartílago en tejido óseo, que no permite el crecimiento (enanismo)—, o bien puede darse el caso de que ambos progenitores posean en su dotación cromosómica determinado gen recesivo, como ocurre con el albinismo (ausencia de pigmentación). En los dos casos mencionados la anomalía hará su aparición en la generación filial.

Las anomalías cromosómicas que se producen cuando los cromosomas se distribuyen en las células de una manera desordenada durante la concepción son casi siempre incompatibles con la vida, pero muchos de los recién nacidos que sobreviven presentan formas de retraso mental, como la conocida con el nombre de síndrome de Down (mongolismo). Este mal afecta con más frecuencia a los niños nacidos de madres de cierta edad (entre 35 y 40 años).

Parece ser que los factores genéticos no actúan de manera independiente. Gemelos idénticos desde el punto de vista genético pueden, efectivamente, no presentar ambos la misma anomalía. Los científicos opinan que la causa reside en la influencia ejercida por sustancias químicas de origen materno o bien en una implantación alterada del embrión en el seno uterino, o incluso en un anómalo desarrollo de la placenta. Ulteriores investigaciones sobre los mecanismos embrionarios constituyen una extensa y prometedora esperanza acerca del futuro de estas anomalías. En los factores ambientales se incluyen las enfermedades contraídas por la madre durante el embarazo y los tratamientos a los que ha sido sometida. Cuando la madre contrae la rubéola al comienzo del embarazo, el niño puede nacer con anomalías cardiovasculares; mientras que si la enfermedad la contrae la madre más avanzado el período de gestación, el recién nacido puede nacer sordo o presentar cataratas.

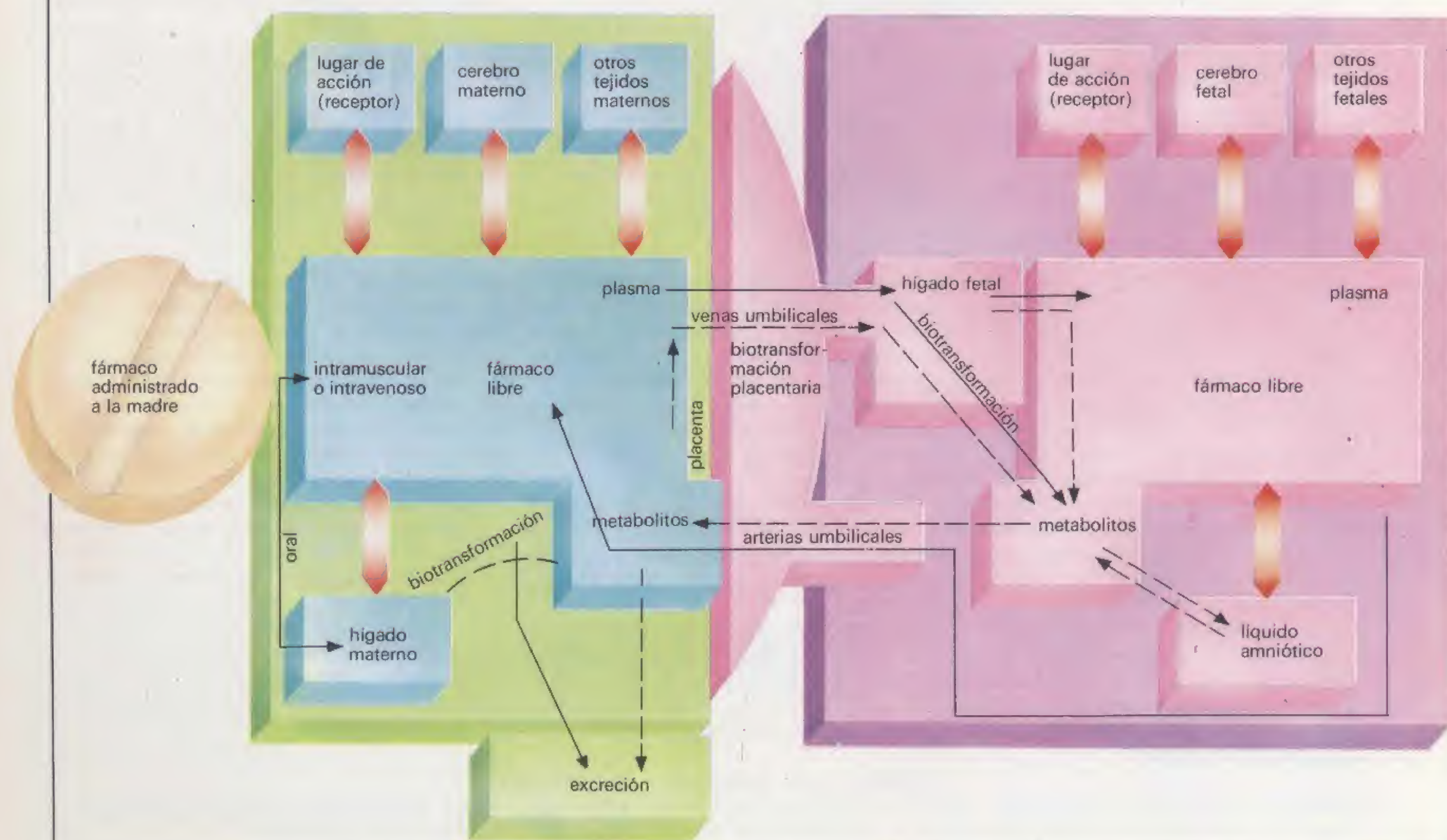
Las consecuencias pre y posnatales de las infecciones contraídas por la madre son múltiples y de variado género. La infección alcanza al feto por difusión hematogena o por infección placentaria, y las consecuencias pueden ser muy graves, con malformaciones de distinta naturaleza y, en casos extremos, con la muerte del feto (tabla de la derecha). Otra causa de estas malformaciones es la administración indiscriminada de ciertos fármacos a la gestante. La distribución del fármaco en la unidad madre-feto-placenta se esquematiza en la ilustración de abajo.

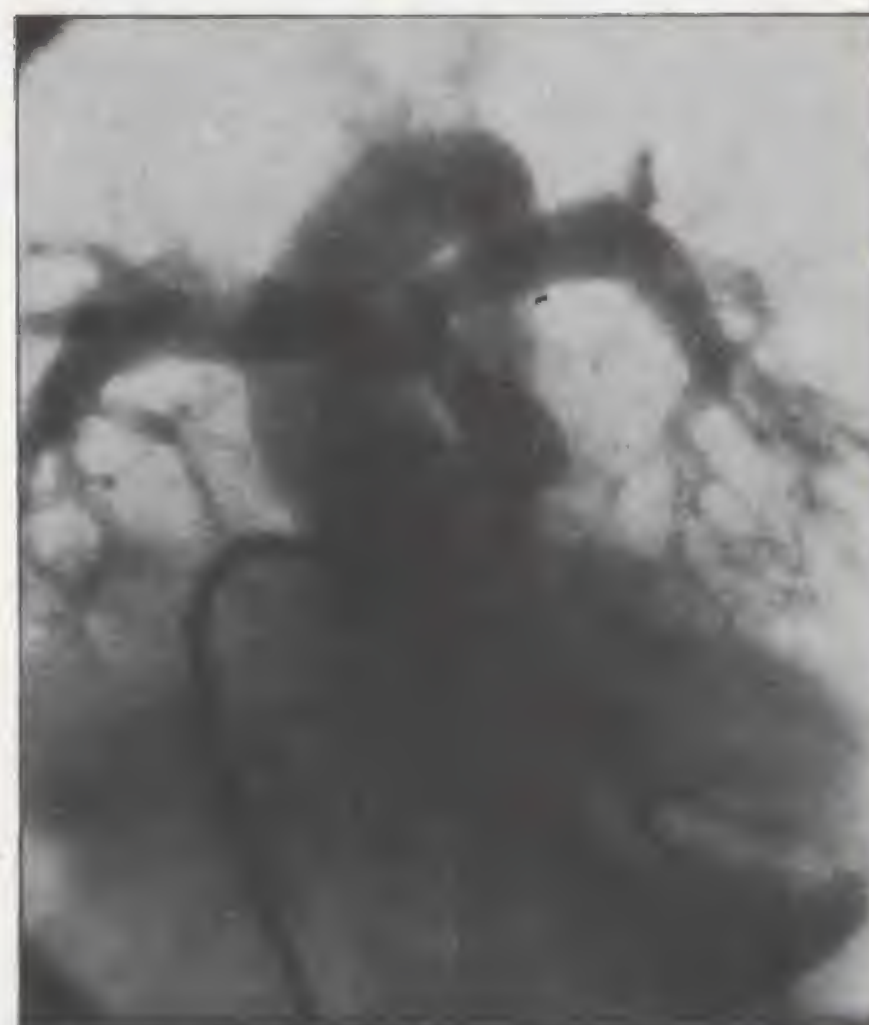
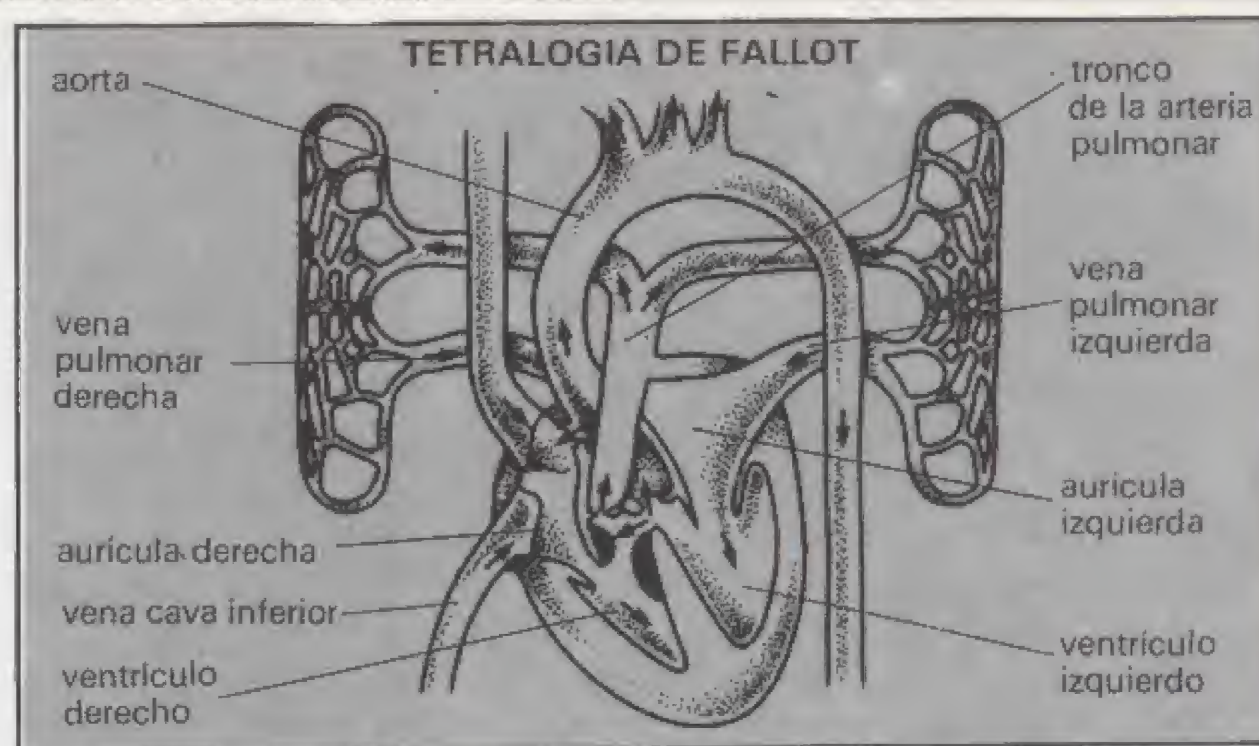
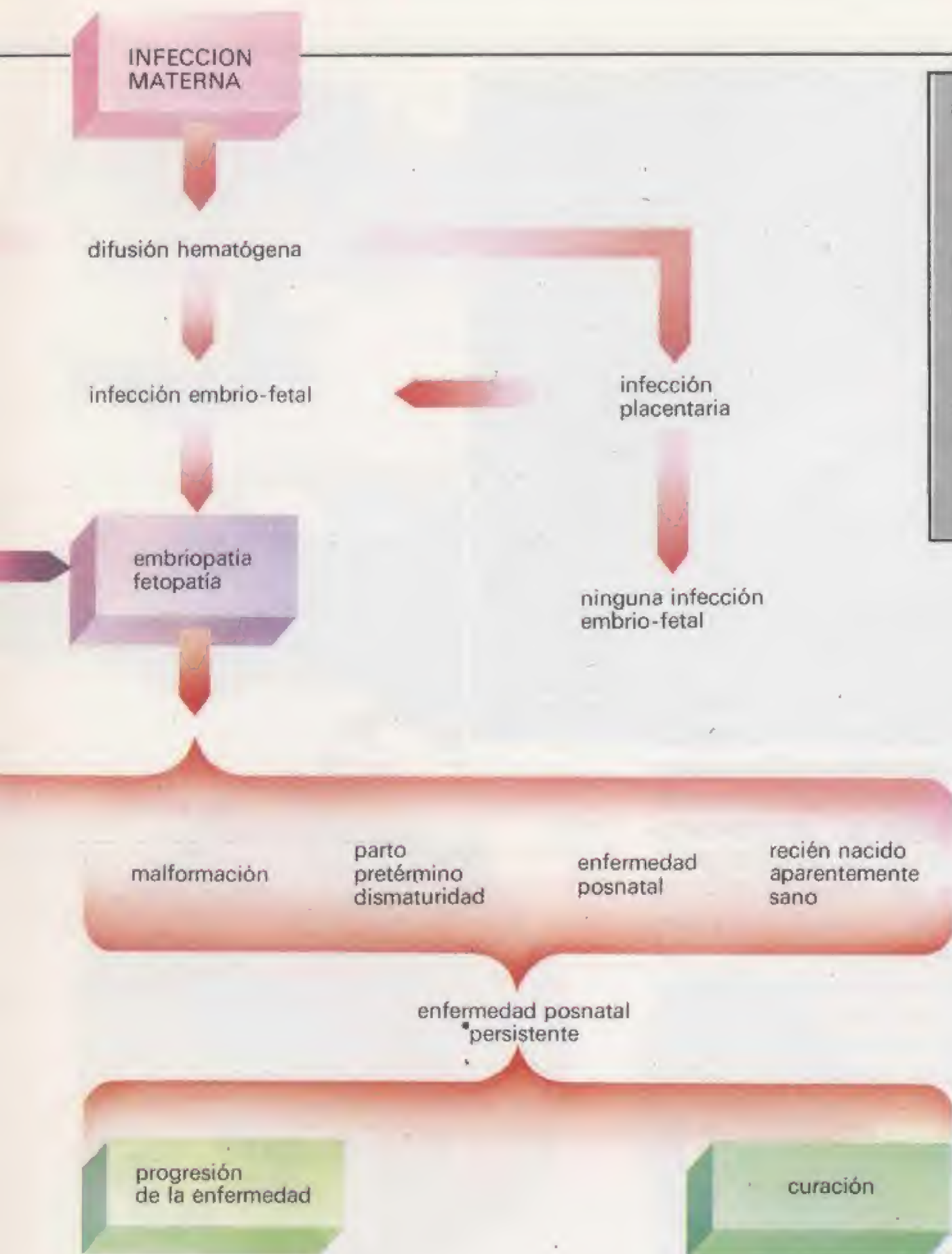
ninguna afección embrio-fetal o placentaria

ningún efecto sobre el feto

aborto

muerte fetal





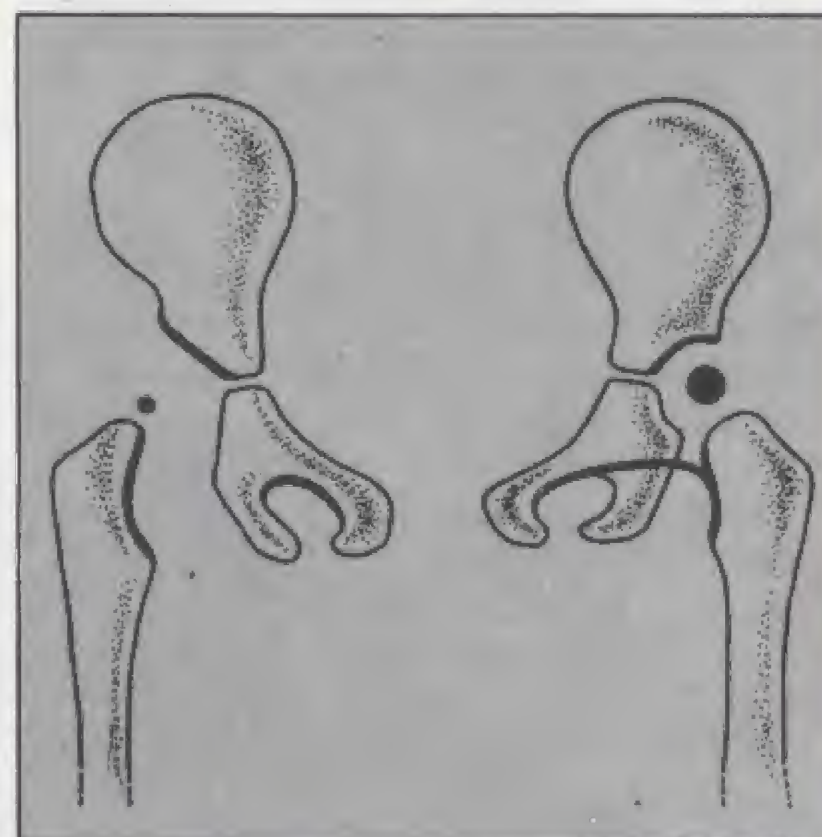
Los niños de la talidomida nacieron con los brazos y las piernas más cortos que lo normal, y con manos y pies malformados. Cuando la madre, en los primeros meses de la gestación, es expuesta a radiaciones, el niño puede nacer microcéfalo y ser retrasado mental.

Frecuencia de las malformaciones congénitas La incidencia o la frecuencia de las malformaciones congénitas depende de cómo sean consideradas. El 20% aproximadamente de todos los niños nacidos muertos o fallecidos durante la primera semana de vida presenta graves malformaciones. En el transcurso de las primeras dos semanas de vida, cerca del 20 por mil de los recién nacidos puede manifestar malformaciones y otro 5 ó 6 por mil puede presentar malformaciones dentro de los primeros cinco años de vida. Si se suman las anomalías descubiertas más tarde o que se manifiestan en un período sucesivo, se puede estimar que el número de malformaciones congénitas se sitúa en torno al 30 por mil, realizando una evaluación prudente.

Algunas malformaciones congénitas particulares son típicas de ciertas partes del mundo o de ciertas razas. Por ejemplo, en Irlanda y en Inglaterra occidental existe una malformación consistente en la fal-

ta completa —o de una parte— del cerebro en el momento del nacimiento, y se presenta en más del 4% de todos los nacidos muertos o de los muertos prematuramente, siendo 20 veces más frecuente que en otros lugares.

Véase Cromosoma; Gen; Genética; Embarazo; Enfermedades hereditarias; Enfermedades infecciosas; Parto



Arriba del todo, esquema de la tetralogía de Fallot y, debajo, su imagen radiológica. El medio de contraste oscurece tanto la aorta como la arteria pulmonar. A nivel de las arterias pulmonares, son muy evidentes las estenosis del infundíbulo, de la válvula pulmonar y del inicio de la rama izquierda de la arteria. La presión de la sangre es igual en los dos ventrículos, y una

parte de la sangre venosa expulsada por el ventrículo derecho en la sístole pasa directamente a la aorta y a la circulación sistémica. Encima y a la izquierda de estas líneas, dibujo y radiografía de una preluxación de la cadera, donde se aprecia la interrupción del denominado arco de Shenton. En el dibujo se han señalado con trazo grueso el arco normal, sano, y el interrumpido.

Mamíferos

La gran ballena azul y la minúscula musaraña tienen algo en común: ambas forman parte del *phylum* de los Cordados, y concretamente del *subphylum* de los Vertebrados y de la clase de los Mamíferos. Se trata de los seres vivos mejor adaptados, capaces de vivir en todos los climas y de nutrirse con toda clase de alimentos. Los mamíferos poseen una serie de características comunes fundamentales: son de sangre caliente (homeotermia); las hembras paren a las crías, que se alimentan de la leche segregada por las glándulas mamarias de su madre; y, además, están dotados de un cerebro muy desarrollado, el más complejo de todos los que existen en la Naturaleza.

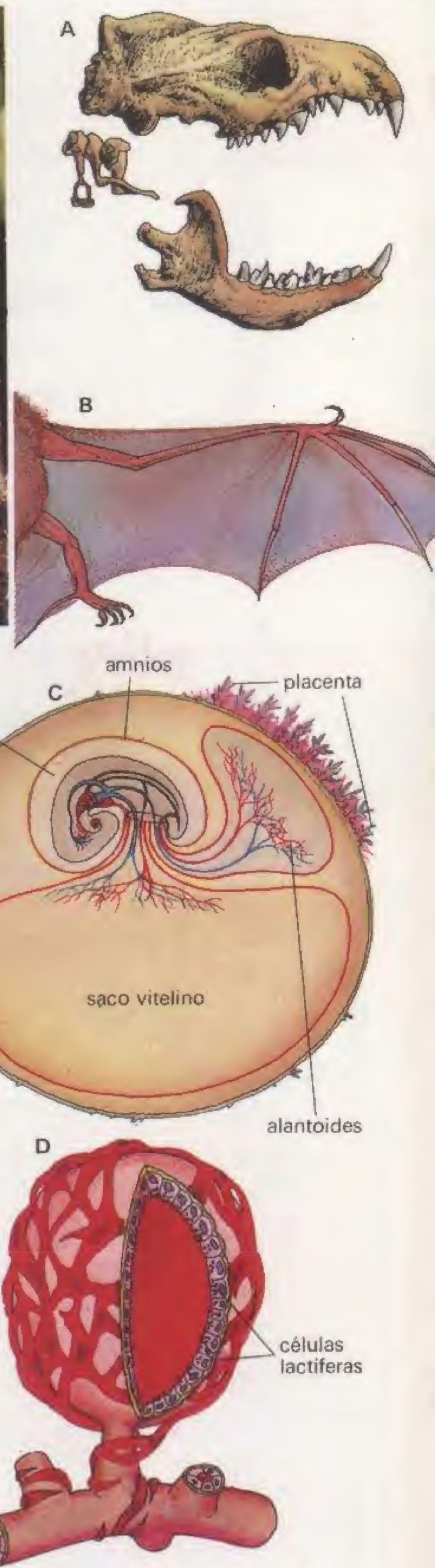
Los mamíferos aparecieron hace unos 200 millones de años. Los restos fósiles indican que han evolucionado a partir de un grupo de reptiles "similares" a los mamíferos. Pero fue hace unos 65 millones de años cuando empezaron a ser dominantes, después de que una serie de cataclismos tectónicos y climáticos muy intensos provocara la extinción de los dinosaurios y la formación de grandes cadenas montañosas —como las Montañas Rocosas de Norteamérica—, al tiempo que se formaban las actuales zonas climáticas.

La aparición de la homeotermia El factor más importante para la supervivencia de los mamíferos ha sido, y sigue siendo, la *homeotermia*: mantenimiento de una temperatura interna constante e independiente de la del ambiente. Los animales de sangre caliente (mamíferos y aves) poseen un sistema de regulación térmica que les permite mantener constante la temperatura de su cuerpo, lo que resulta muy ventajoso para sus funciones fisiológicas en la mayoría de los climas. Para poder mantener el calor interno que precisan, los mamíferos consumen gran cantidad de "combustible" en forma de alimento y oxígeno. También con este fin se han desarrollado en su cuerpo varias formas secundarias de adaptación. Para facilitar su gran actividad, suelen estar provistos de vigorosas extremidades. El movimiento genera calor, y constituye también el medio por el cual los mamíferos consiguen la gran cantidad de alimento que precisan. Sus sistemas respiratorio, circulatorio y digestivo tienen que ser muy eficaces, para poder transformar el "combustible" en energía térmica.

Alimento y calor El alimento necesita oxígeno para poder oxidarse y transformarse en energía. A diferencia de los organismos de sangre fría (poiquilotermos), cuya temperatura depende exclusivamente de las condiciones externas, los mamíferos tienen que producir gran cantidad de energía para mantener constante su temperatura interior, por lo que necesitan oxígeno. Por ello están dotados de pulmones muy eficientes y, a diferencia de los demás grupos animales, de un músculo respiratorio llamado *diafragma*, que bombea grandes cantidades de aire hacia



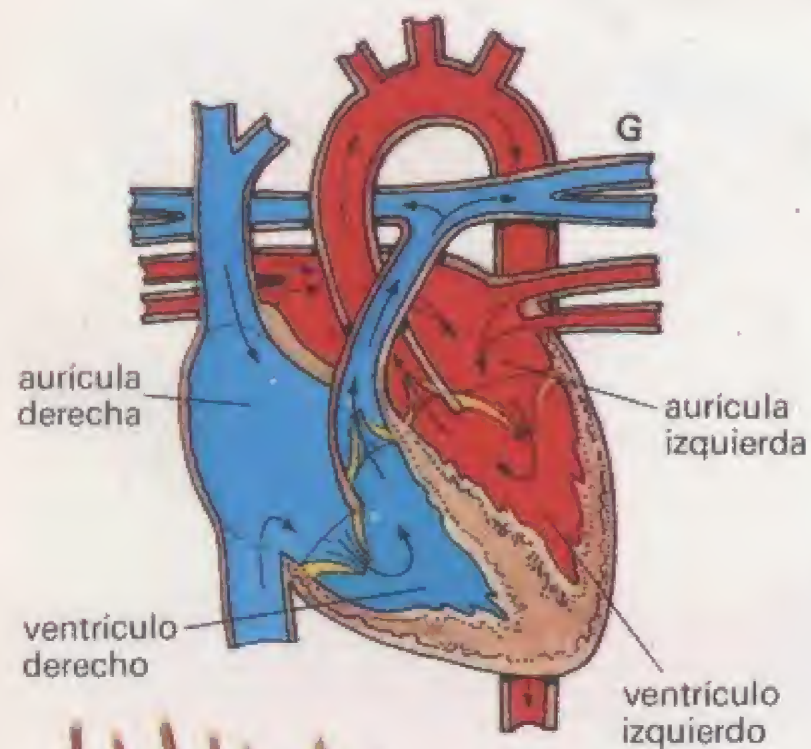
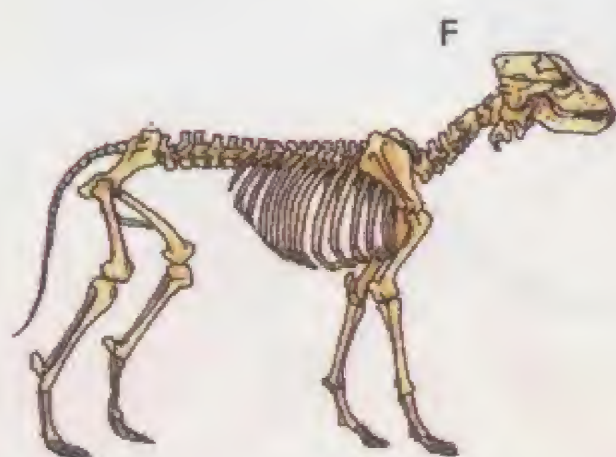
el interior del cuerpo, introduciendo oxígeno y expulsando dióxido de carbono. El sistema circulatorio de los mamíferos, al igual que el respiratorio, es muy eficiente. Los glóbulos rojos, en comparación con los de otros animales (si exceptuamos a las aves), son capaces de transportar más cantidad de oxígeno. El corazón está dividido en cuatro partes para impedir que la sangre oxigenada se mezcle con la que no lo está; posee una pared que lo divide en dos ventrículos y dos aurículas separados. La parte derecha recibe sangre pobre en oxígeno, procedente del resto del cuerpo, y la bombea hacia los pulmones, donde se enriquece con el aire puro. En cambio, la parte izquierda recibe la sangre rica en oxígeno procedente de los pulmones, y la bombea a todo el cuerpo, oxigenando los tejidos. Los mamíferos no sólo tienen medios eficaces para convertir en calor las fuentes de energía, sino también para mantenerlo. Son los únicos animales con pelos en la superficie del cuerpo. Los pelos son un material ligero y aislante debido a su capacidad de retener el aire. Muchos mamíferos sin pelo, como los delfines y las ballenas, recurren a una gruesa capa de grasa para lograr el aislamiento térmico. Naturalmente, los mamíferos también tienen que disponer de métodos de protección contra el sobrecalentamiento. La mayoría son capaces de expulsar el calor del cuerpo a través de los pulmones (jadeo). El hombre expulsa el calor transpirando a través de los poros de la piel. El cerebro de los mamíferos es el más sofisticado de todo el reino Animal. Se encuentra especialmente desarrollada la parte del encéfalo que controla la memoria y el aprendizaje. Ambas características parecen haber aumentado gracias a los largos períodos de tiempo que la mayor parte de las crías de los mamíferos ha de pasar bajo la protección de sus padres. Entre los mamíferos más inteligentes están las ballenas, las focas y los perros, aunque es el orden de los Primates (al que pertenecen los homínidos) el más evolucionado en este sentido.



Reproducción y cuidado de la prole

Todos los mamíferos se reproducen sexualmente. En la mayor parte, la actividad sexual es cíclica y está regulada hormonalmente, alternando períodos de actividad y de reposo.

Los mamíferos son los únicos animales que alimentan a sus hijos con leche, producida por las glándulas mamarias que poseen las hembras. Estas glándulas tienen una serie de conductos ramificados, de dimensiones microscópicas, que conducen la leche hasta los pezones. La leche es una mezcla formada por grasas energéticas, azúcares, proteínas para el crecimiento, minerales, vitaminas y agua.



leche (aunque carecen de pezones). Las crías nacen después de una corta incubación (de 7 a 10 días) y se alimentan de la leche que segrega el cuerpo de la madre.

Los Marsupiales, un orden de mamíferos algo más evolucionado, también son típicos de Australia. Ponen a sus hijos, pero éstos nacen totalmente inmaduros y durante varios meses permanecen enganchados a los pezones de la madre. Esto se debe a que el feto del marsupial tiene que alimentarse a partir del escaso material nutritivo contenido en el huevo, ya que carecen de placenta, y éste no es suficiente para que el feto se desarrolle durante mucho tiempo, de manera que los pequeños tienen que nacer para poder alimentarse y desarrollarse con la leche de su madre. La mayoría de los marsupiales tiene una "bolsa" (marsupio) donde transporta y protege a los pequeños y que en muchas especies recubre los pezones de la madre. Los canguros, que pueden crecer hasta 2 ó 2,75 m de altura, cuando nacen miden sólo 2,54 cm. Otros marsupiales son los wombat, los koalas y los diablos de Tasmania.

El tercer grupo de mamíferos, los Placentarios, es el más extendido, ya que sus fetos poseen mayor capacidad de supervivencia. A diferencia de la prole de los marsupiales y monotremas, las crías de los placentarios se desarrollan completamente en el interior del útero, en el vientre materno. Se alimentan con sustancias nutritivas suministradas por la sangre materna mediante la placenta, que une al feto con la pared uterina. Así, el feto se va desarrollando en un ambiente seguro y constante, y el suministro de alimento no se limita a la pequeña cantidad de material vitelino que hay en el huevo. Los mamíferos más grandes son los que tienen períodos de gestación más largos. Una hembra de elefante africano está preñada durante unos dos años.

Los mamíferos cuidan del bienestar de su prole más que ningún otro ser vivo. Esta adaptación puede ser consecuencia de las exigencias de la homeotermia, que requiere una alimentación regular y grandes cantidades de alimento.

Véase Cordados; Vertebrados

Los Mamíferos, cuyo esquema sistemático aparece en las páginas siguientes, son animales vertebrados homeotermos que comprenden especies muy diferentes desde el punto de vista morfológico: basta con comparar un pequeño roedor —como el moscardino de la foto de la página anterior—

con un ornitorrinco (abajo), con su pico córneo aplastado parecido al de un pato. Los mamíferos son mayoritariamente terrestres, pero algunos se han adaptado a la vida acuática; pueden ser diurnos o nocturnos; generalmente hacen vida social en manadas o rebaños, pero también forman sociedades temporales o viven aislados. La característica que permite distinguir a los mamíferos del resto de los vertebrados es esencialmente la

presencia de mamas y de piel que, salvo ciertas excepciones, está recubierta de pelo. En los esquemas vemos representadas algunas características anatómicas de los mamíferos: A) cráneo de erizo, en el que se puede apreciar la dentadura de insectívoro; B) ala de murciélago, con la membrana alar o patagio; C) embrión de mamífero placentario, en el que se pueden ver los anejos embrionarios; D) detalle de tejido mamario con células lactíferas; E) encéfalo de caballo, con numerosas y profundas circunvoluciones cerebrales; F) esqueleto de un carnívoro fisípido (perro); G) corazón dividido en dos partes: venosa (derecha) y arterial (izquierda); y H) sección de un trozo de piel.

Los mamíferos se subdividen en tres subclases, según las distintas formas de desarrollo del recién nacido a partir del huevo fecundado. A su vez, las subclases se dividen en numerosos órdenes. Los Monotremas primitivos son un testimonio de la evolución de los mamíferos a partir de los reptiles. El ornitorrinco de pico de pato y la equidna de pelos aculeiformes, ambos de Australia, son los únicos representantes de los monotremas sobre la Tierra. Ponen huevos al igual que los reptiles, en lugar de parir a sus hijos como el resto de los mamíferos. Pero tienen el cuerpo típicamente cubierto de pelos, y poseen glándulas mamarias que segre-



Quirópteros (800 sp.)

- 11 zorra voladora
- 12 vampiro
- 13 noctula
- 14 orejudo



Primates (190 sp.)

- 16 tupaya
- 17 vari
- 18 mono araña
- 19 gorila
- 20 hombre



Dermópteros (2 sp.)
15 lemur volador



Desdentados (30 sp.)

- 21 armadillo
- 22 oso hormiguero
- 23 perezoso



Folidotos (7 sp.)
24 pangolin



Insectívoros (370 sp.)

- 7 musaraña
- 8 topo
- 9 erizo
- 10 almiquí



Marsupiales (250 sp.)

- 3 topo marsupial
- 4 lobo marsupial
- 5 zarigüeya
- 6 canguro



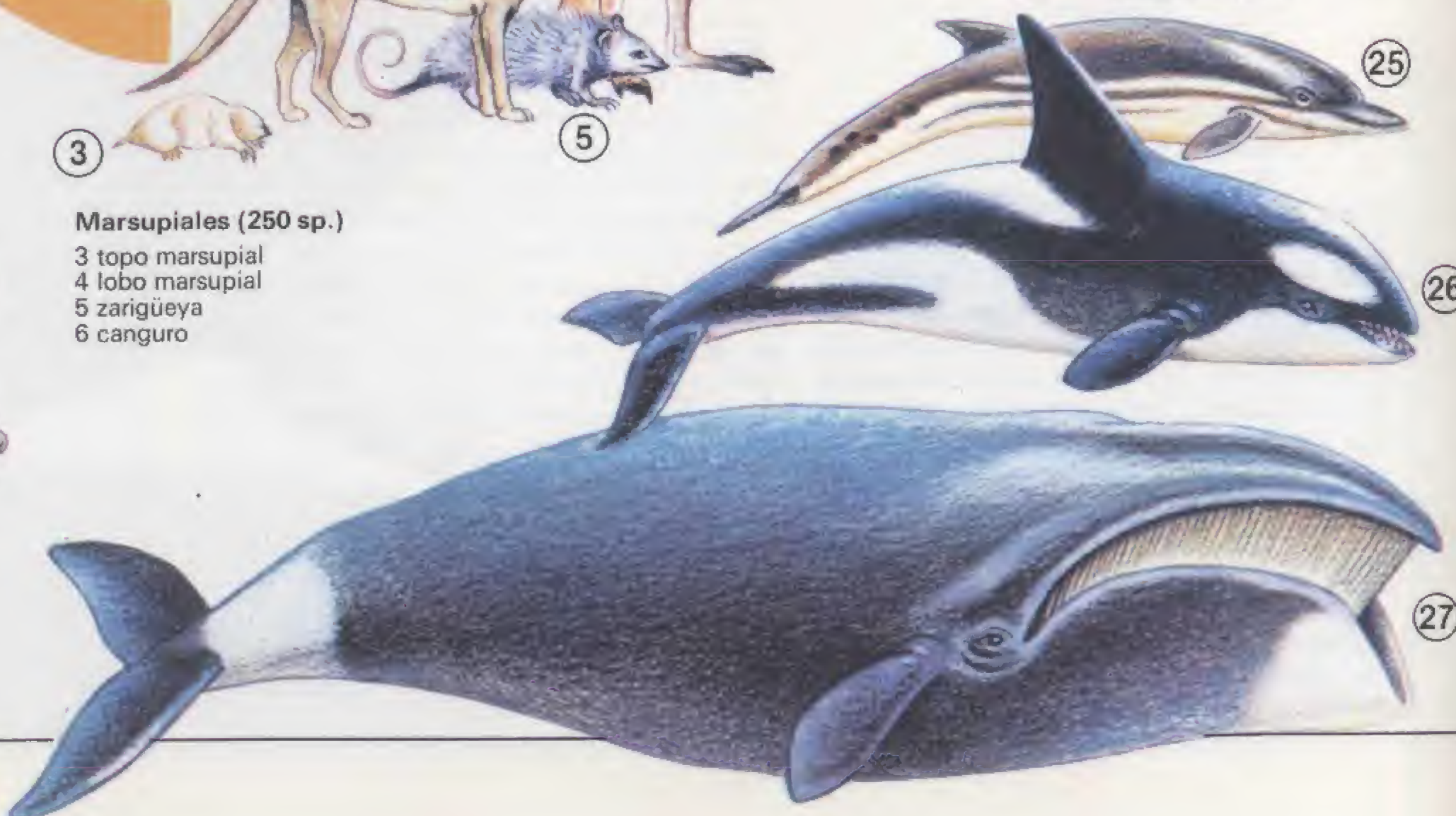
Monotremas (6 sp.)

- 1 equidna
- 2 ornitorrinco



Cetáceos (80 sp.)

- 25 delfin de pico largo
- 26 orca
- 27 ballena boreal



Roedores (1.700 sp.)

- 28 ratón
- 29 ardilla
- 30 puercoespín
- 31 castor



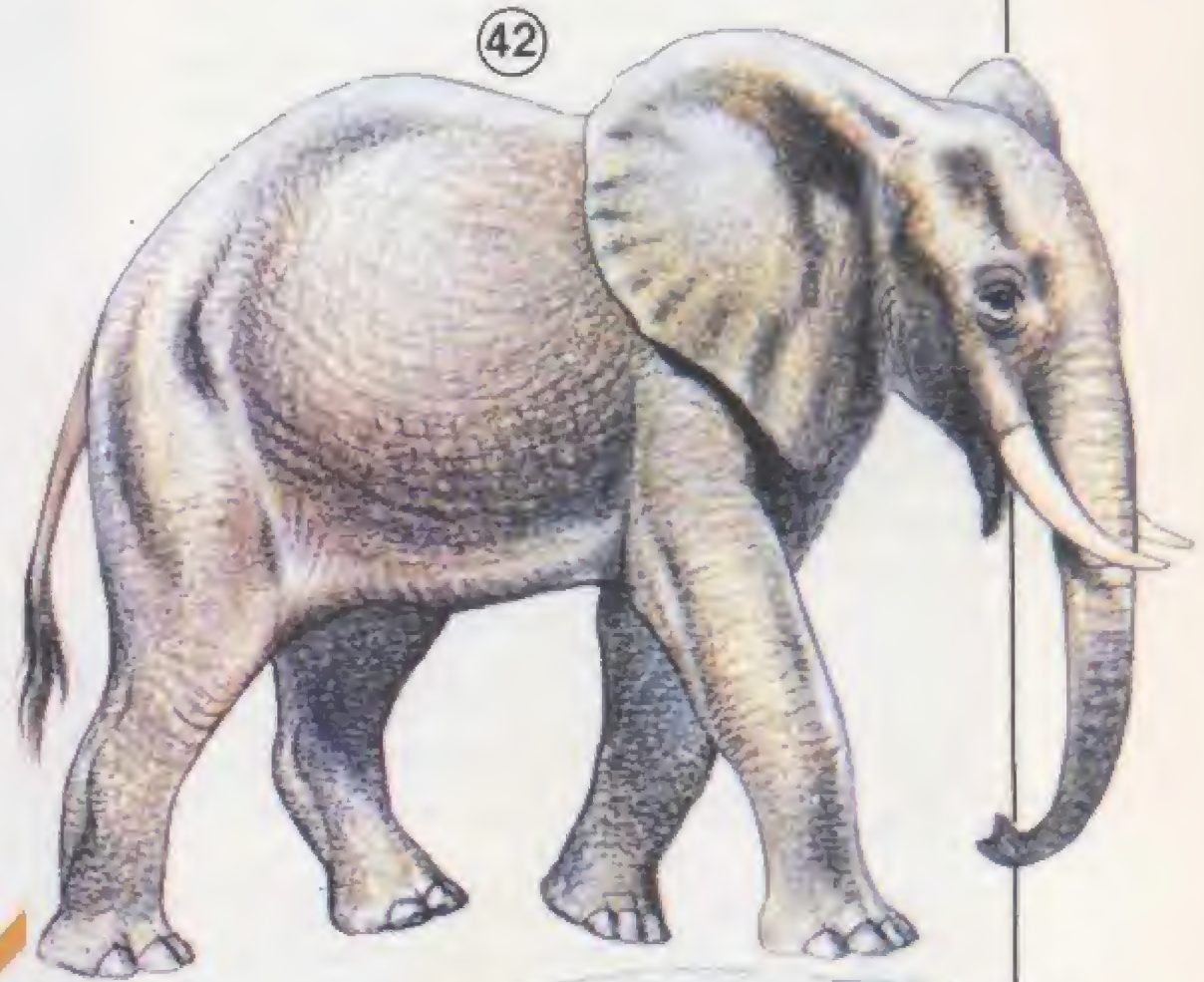
Lagomorfos (60 sp.)

- 32 liebre
- 33 conejo



Proboscídeos (2 sp.)

- 42 elefante africano



Hiracoideos (6 sp.)

- 41 damán



Sirenios (4 sp.)

- 43 manatí



Tubulidentados (1 sp.)

- 34 cerdo hormiguero

Perisodáctilos (16 sp.)

- 44 tapir americano
- 45 caballo
- 46 rinoceronte blanco



Carnívoros pinnípedos (35 sp.)

- 35 elefante marino
- 36 foca



Artiodáctilos (190 sp.)

- 47 jabalí
- 48 kudú
- 49 jirafa
- 50 búfalo cafre
- 51 ciervo



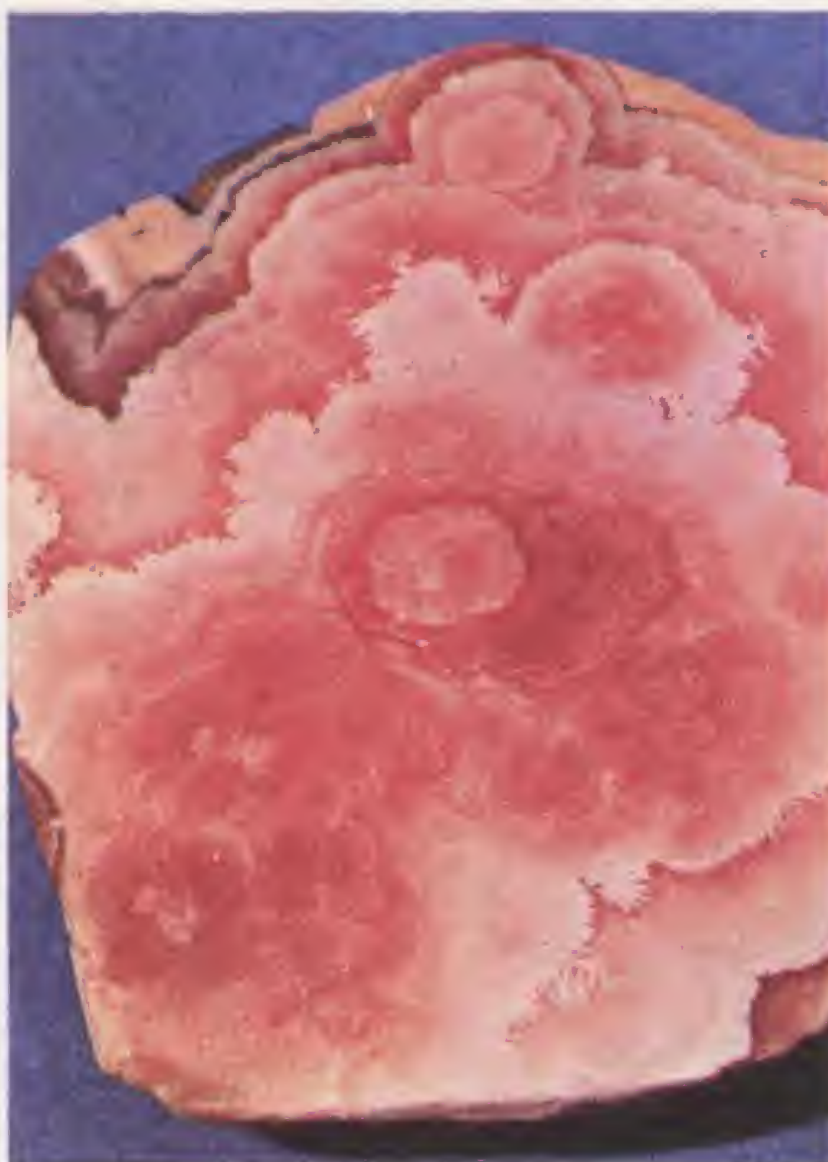
Carnívoros fisípedos (250 sp.)

- 37 tigre
- 38 lobo
- 39 garduña
- 40 oso pardo



Manganeso

NOMBRE	MANGANESO
SIMBOLO	Mn
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del latín <i>magnes</i> , imán
N. ATOMICO	25
PESO ATOMICO	54,9381
ESTADO NATURAL	en la pirolusita y en muchos minerales
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	J. G. Gahn (1774)
PRODUCCION	reducción de los minerales con aluminio (aluminotermia)
P. f. (°C)	1.244
P. eb. (°C)	2.150
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	7,43 7,29 7,18
PROPIEDADES Y APLICACIONES	presente en todos los tipos de acero, por su acción desoxidante y desulfurante, y en muchas aleaciones no ferrosas



El manganeso, metal usado en casi todos los aceros durante largo tiempo, ha sido extraído hasta ahora de minas a cielo abierto y de minas subterráneas. Sin embargo, en el futuro podrá ser encontrado en una fuente totalmente diferente: grandes cantidades de este metal blanco plateado han sido descubiertas en el fondo de los océanos, en gruesas masas de pepitas tan grandes como un puño. Todavía no se sabe bien cómo se han formado tales pepitas. Los *nódulos de manganeso*, como se conoce a esas masas, se encuentran entre 3.000 y 6.000 metros de profundidad.

Las técnicas de extracción submarina se han desarrollado en tal medida, que es posible hoy en día el aprovechamiento de estos preciosos depósitos. Sin embargo, el manganeso se obtiene todavía de minera-

les extraídos de la tierra. Dado que los precios de este metal están en continuo aumento y la demanda de aceros especiales (que contienen altos porcentajes de manganeso) se encuentra en crecimiento incesante, y gracias también al desarrollo de técnicas de extracción cada vez más sofisticadas, pronto se hará económicamente rentable aprovechar ese "tesoro" submarino.

Nódulos de manganeso La dimensión de los nódulos puede variar de granitos cuyo diámetro es una fracción de centímetro a masas con diámetro de algunos metros. Normalmente su volumen está comprendido entre el de un grano de uva y una pelota de tenis. Son blandos (para ser triturados deben estar secos) y contienen hasta un 55% de manganeso, con pe-

queños porcentajes de otros metales valiosos, tales como hierro, níquel, cobalto y cobre.

Los científicos han formulado una hipótesis según la cual los nódulos de manganeso se forman por lenta sedimentación del manganeso disperso en el agua sobre pequeños fragmentos de materia: granos de arena o restos óseos de peces; más o menos del mismo modo como el granizo se forma por condensación de capas sucesivas de hielo en torno a partículas de polvo. El mecanismo de formación, en cualquier caso, no se conoce todavía con precisión.

El interrogante más difícil de contestar es por qué los nódulos de manganeso se encuentran sobre el fondo del océano y no están cubiertos del sedimento oceánico, que se deposita a una velocidad centenares o miles de veces superior a la de formación de los nódulos. Para no quedar sepultados, han debido ser movidos de vez en cuando. La causa de este movimiento es desconocida. Los terremotos submarinos y los peces que remueven el fondo en busca de alimentos son dos de las explicaciones propuestas.

No todo el manganeso submarino se encuentra en forma de nódulos. A veces se deposita en capas en forma de gravilla o en simples formaciones rocosas.

Aleaciones de manganeso El manganeso tiene pocas aplicaciones en forma pura. Sin embargo, es un elemento muy importante en la siderurgia. Es un ingrediente esencial en casi todos los tipos de acero. Sin él, el acero tiende a fragmentarse cuando se lamina o fragua. La cantidad de manganeso que debe ser añadida para reforzar y endurecer el acero es muy pequeña, pero no se conoce otro elemento sustitutivo, y por tanto son necesarias cada año miles de toneladas de este metal.

Cuando una sustancia —distinta del carbono— se añade al acero para modifi-

Arriba, a la izquierda, rodocroita, carburo de manganeso; a la derecha, dendritas de manganina en piedra caliza. Aquí abajo, pirolusita, bióxido de manganeso.





El mapa de arriba indica la distribución mundial de nódulos de manganeso; la zona de mayor concentración se encuentra sobre los fondos del Pacífico. Al lado, concentración de nódulos distribuidos uniformemente sobre el fondo oceánico. Debajo, nódulo de manganeso. Los nódulos se recogen con una draga de cesta metálica. Abajo, a la derecha, aleación de ferromanganeso: contiene un 80-90% de manganeso.



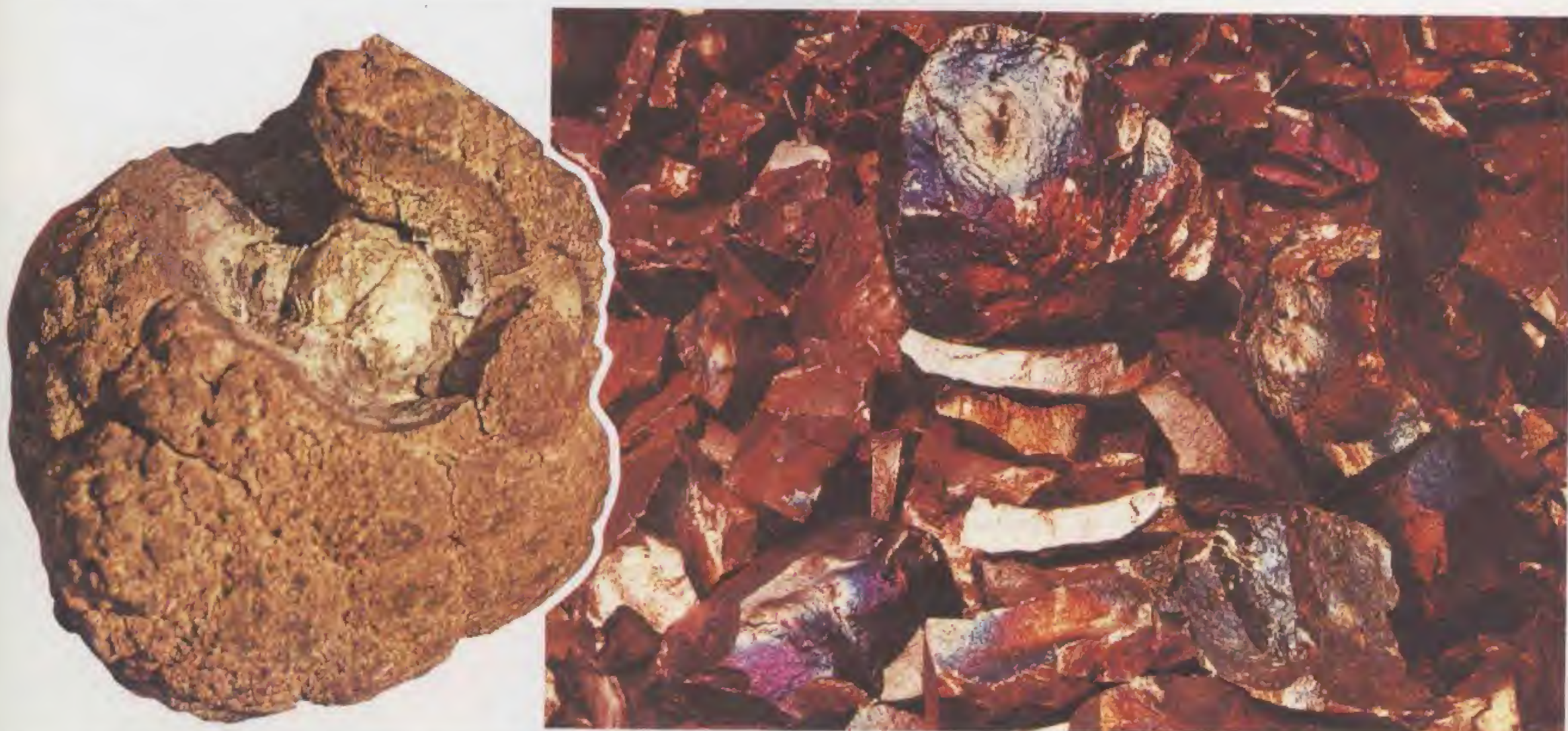
car alguna de sus propiedades físicas, el resultado se llama *acero aleado*. La industria actual tiene gran necesidad de aceros aleados, puesto que hay una notable demanda de metales extremadamente ligeros que mantengan su resistencia a altas temperaturas, y de metales que no se desintegren bajo el influjo de las radiaciones.

El manganeso es uno de los más importantes de entre los metales utilizados en estas aleaciones. Casi toda la producción mundial, cerca del 95%, se emplea para fabricar aceros aleados, a los que dota de una especial dureza y resistencia. Normalmente se usan cantidades muy pequeñas de manganeso, en general no más del 1%. El manganeso es utilizado también en aleaciones no ferrosas (aleaciones que no contienen hierro) para aumentar la dureza y la resistencia a la corrosión.

El manganeso y la vida El manganeso es esencial en la nutrición de plantas y animales. Constituye un microelemento que, en pequeñas cantidades, es esencial para el crecimiento y el funcionamiento normal del organismo humano. Contribuye además al crecimiento de las plantas y es necesario para la fotosíntesis. Tiene un papel importante en el desarrollo de los huesos y en el funcionamiento de los enzimas y del sistema nervioso en los animales superiores. La deficiencia de manganeso puede conducir a un desarrollo óseo anormal y a la alteración del equilibrio en el organismo.

Afortunadamente, la deficiencia de manganeso es rara, puesto que este metal está contenido en muchos alimentos, sobre todo en la mayor parte de las hortalizas, en los cereales integrales y en los frutos secos.

Véase **Acero; Aleación**



Manta eléctrica

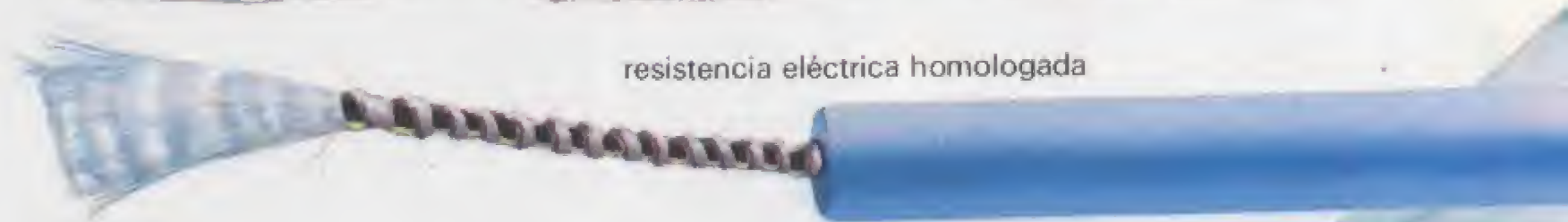
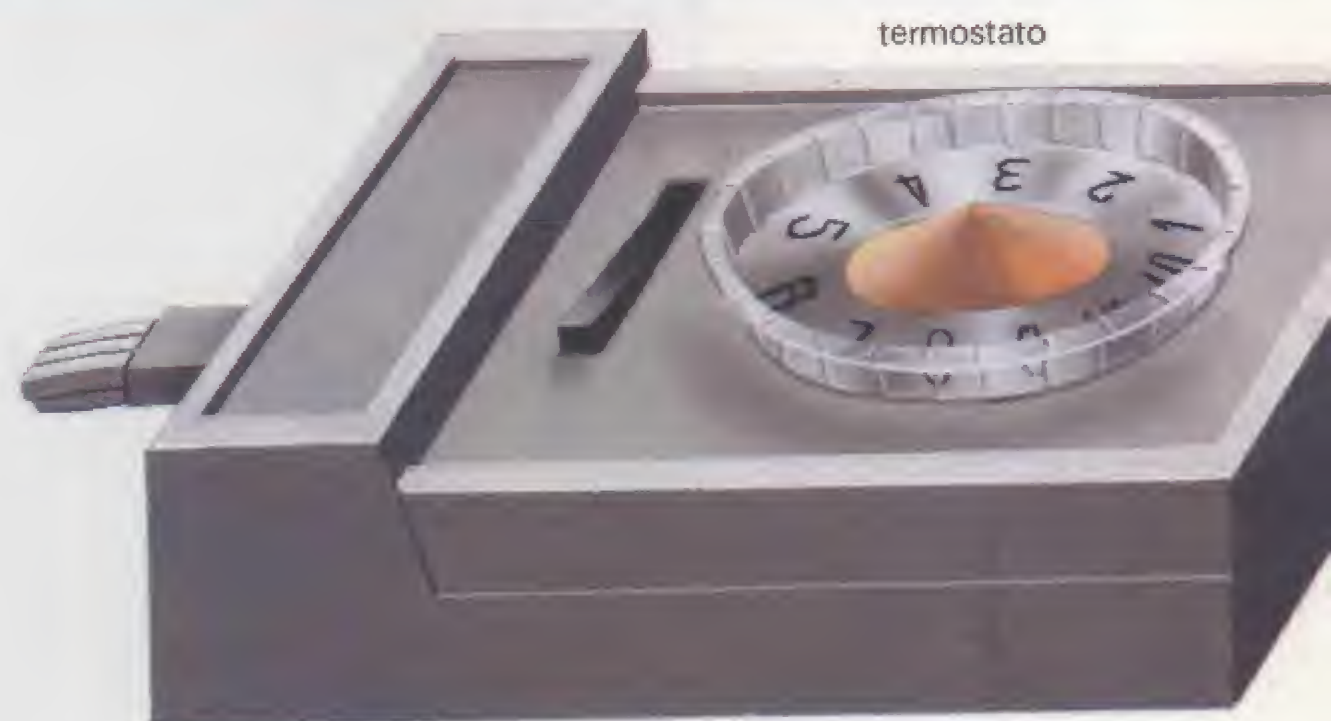
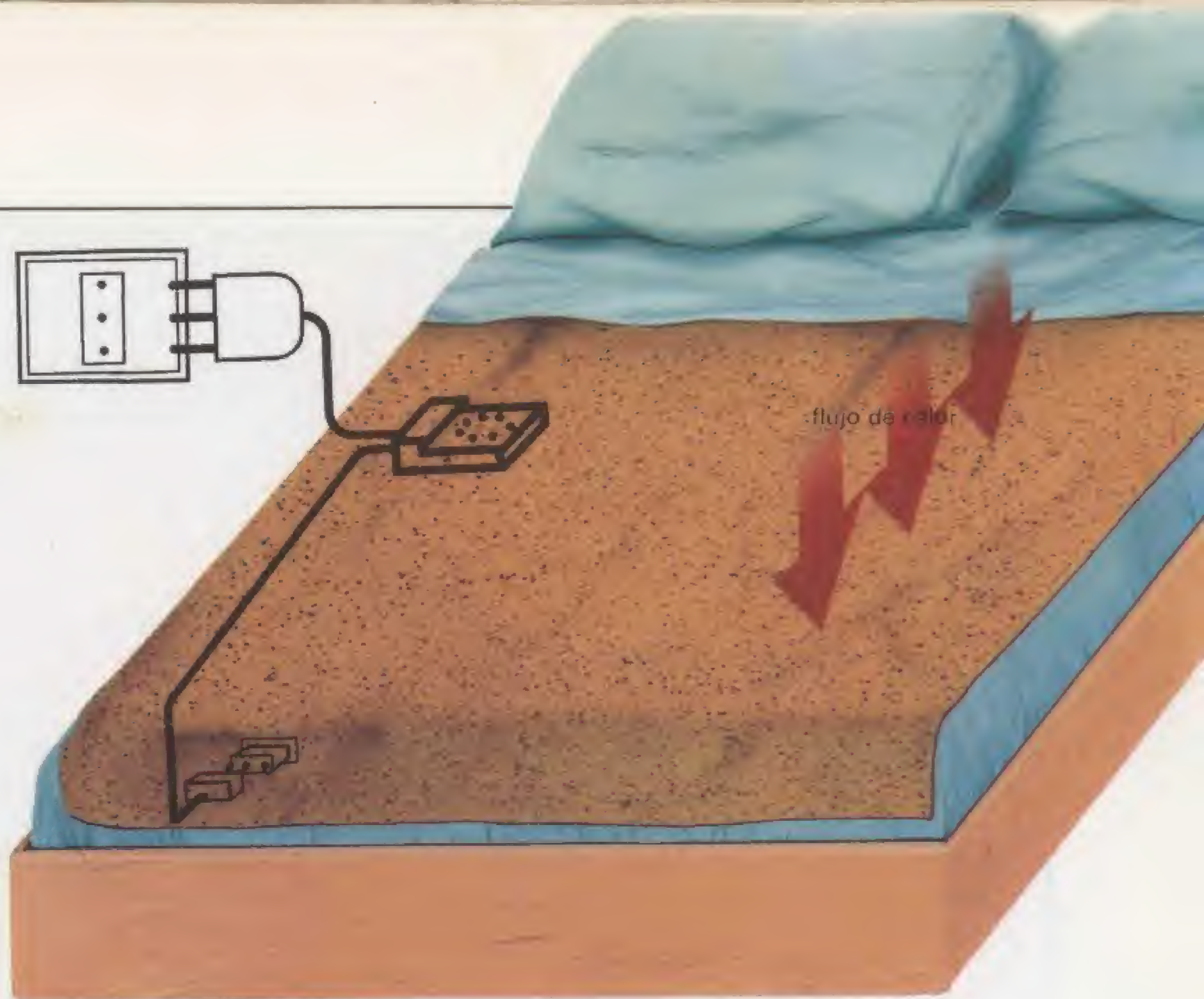
Para hacer frente a una fría noche invernal, se puede recurrir a las clásicas y suaves mantas de lana o dejar conectado durante toda la noche el aparato de calefacción del dormitorio. Sin embargo, las primeras presentan el inconveniente de que resultan demasiado pesadas, lo que impide a muchas personas tener un sueño tranquilo. Por otro lado, el mantener la calefacción conectada durante toda la noche supone un gran gasto de energía. La búsqueda de nuevas formas de combatir los rigores climáticos ha llevado a una solución que combina los aspectos más positivos de ambos sistemas de calefacción: la manta eléctrica. Se trata de una manta —confortable por su estructura— con una resistencia eléctrica incorporada, que permite regular la temperatura.

Fabricación La fabricación de una manta eléctrica requiere un procedimiento bastante simple. En efecto, se trata de coser delgados hilos conductores entre dos capas de paño, de tejido acrílico o poliéster o bien una mezcla de ambos. Los hilos conductores son resistentes a la limitada corriente eléctrica que los atraviesa y de este modo se consigue la producción de calor.

Un termostato colocado en el dispositivo de control de la manta regula la temperatura con objeto de que la manta eléctrica no se ponga demasiado caliente o demasiado fría cuando varíe la temperatura de la habitación. En el dispositivo de control van instalados sensores térmicos que miden la temperatura del recinto. El termostato regula automáticamente la penetración de corriente eléctrica según la temperatura de la habitación y el nivel de calor elegido por la persona que se sirve de la manta eléctrica. El termostato está conectado a un esquema eléctrico, de modo que, cuando se establece el contacto, el circuito eléctrico se cierra y circula la electricidad, calentando los hilos conductores de la manta. Para evitar posibles riesgos de incendio, el termostato está provisto de un dispositivo de seguridad que consta de un contacto magnético. El contacto inferior está fijado a una chapa de base y abrazado por una pequeña arandela de hierro. El contacto superior va unido a un brazo móvil en cuya extremidad hay un pequeño imán en forma de copa. Cuando baja la temperatura, el termostato hace que se doble el brazo del contacto superior, acercando el imán a la arandela hasta que se "disparan" juntos y los contactos se encuentran. El imán garantiza un contacto rápido y seguro, evitando chispas. El circuito se interrumpe simplemente cuando el termostato tira con suficiente fuerza del brazo superior como para vencer la atracción magnética y los contactos se desprenden por separado.

Tipos de mantas eléctricas El termostato reacciona a la temperatura externa; por consiguiente, si el dispositivo de control es colocado bajo la manta o cerca de

Arriba, una cama equipada con una manta eléctrica. Con un consumo mínimo se puede tener una cubierta que, uniéndose el propio calor al del cuerpo, eleve fácilmente la temperatura a valores confortables aun cuando la temperatura de la habitación sea muy baja. El termostato, junto a estas líneas, sirve para regular la potencia eléctrica; debajo aparece esquematizado el enlace de los hilos calentadores dentro del espesor de la manta, y, más abajo, esquema de la protección del cable suministrador de calor.



una luz o de un calentador, el termostato se calentará y la manta eléctrica permanecerá apagada. Por lo tanto, el dispositivo de control debe ser colocado al descubierto, por ejemplo sobre la mesilla.

Las mantas eléctricas más simples tienen una estructura cíclica que distribuye la tensión máxima a los hilos conductores cuando la manta está encendida y ningun-



termóforo

Existen accesorios más pequeños cuyo funcionamiento sigue el mismo principio de la manta eléctrica. A la izquierda, un *termóforo* que sirve para el pecho, el vientre y las piernas. Abajo, un curioso calentapiés en forma de alfombrilla. Se conecta a la red y se mantiene bajo los pies incluso sin zapatos. Hay severas normas internacionales que regulan la seguridad de estos aparatos.



termóforo cervical



alfombra calefactora

A la izquierda, aplicación de un *termóforo* cervical. Se trata de un aparato que permite tener caliente la parte alta del dorso y disponer de un recubrimiento, igualmente productor de calor, en torno al cuello. En estos casos no se trata solamente de aparatos para el confort personal, sino también para la prevención de los reumatismos.

na tensión si está apagada. Cuando la temperatura de la habitación disminuye, el termostato hace que el ciclo de encendido dure más, de manera que se libera una mayor cantidad de calor de los elementos conductores.

El inconveniente de este tipo de mantas eléctricas consiste en el hecho de que, cada vez que la manta se enciende o se apaga, se oye un chasquido y esto puede molestar a una persona que tenga el sueño ligero.

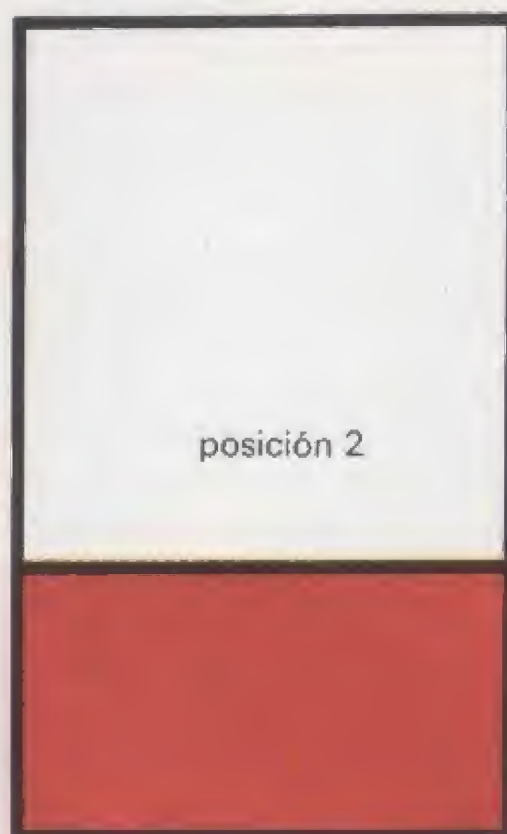
Existe un tipo de manta eléctrica más complejo que está provisto de un control "electrónico", más silencioso y sensible. La manta eléctrica distribuye la máxima tensión en la posición más elevada del termostato y solamente una fracción en las posiciones más bajas. Dado que el voltaje cambia continuamente, no se oye ningún chasquido. Sin embargo, los controles electrónicos a menudo superan los valores del termostato cuando comienzan a funcionar, y suministran demasiado calor. Un condensador de fuga insertado en los contactos normales del termostato regula la cantidad de corriente que ha de enviarse a la manta eléctrica, conforme a los sensores térmicos. Pero si este condensador tiene un cortocircuito, el termostato no estará en condiciones de regular el calor de la manta eléctrica y ésta continuará funcionando durante toda la noche.

Algunas mantas eléctricas están provistas de dos sistemas de calefacción separados y de dos dispositivos de control, de este modo en una cama de matrimonio dos personas pueden utilizar una sola manta eléctrica y regularla según los deseos de cada uno.

Véase Electricidad



posición 3



posición 2



posición 1

esquemas de calefacción en las tres posiciones de los conmutadores

Una manta especial puede ser usada asimismo como cubrecolchón y sirve para disponer de un apoyo caliente y seco en la cama cuando el colchón, a causa de las condiciones climáticas de un ambiente, está no sólo frío, sino también húmedo. Del mismo

modo, se dispone en estos casos de un accesorio para la regulación de la potencia térmica. Como queda ilustrado sobre estas líneas, la regulación se basa en la posibilidad de transmitir calor a tres zonas de la manta, ya sea individualmente o en pareja.

Mantequilla

La mantequilla constituye uno de los subproductos más importantes de la leche y uno de los alimentos más puros. Se obtiene por agitación o por batimiento de la leche o de la crema, para lo cual se utilizan máquinas a propósito. La mantequilla *pasteurizada* se produce a partir de la nata o de la crema pasteurizada.

Cómo se produce la mantequilla En la actualidad existen dos métodos industriales para la fabricación de mantequilla: *procedimiento por batido o mazado* y *procedimiento continuo*.

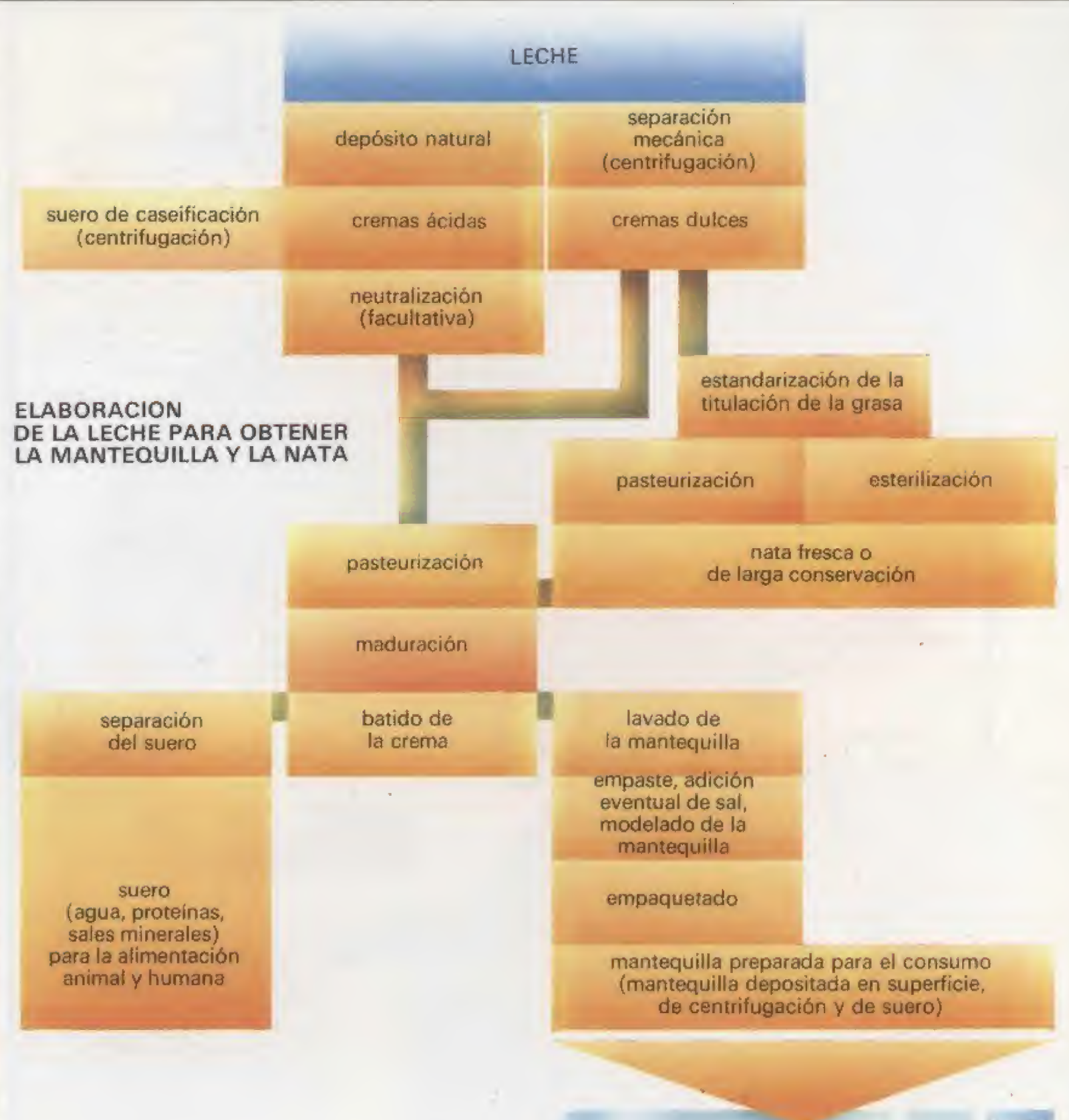
El método tradicional de hacer la mantequilla es batirla de forma intermitente en mantequeras rotativas. La nata, obtenida por descremado centrífugo de la leche, se neutraliza, cuando tiene exceso de acidez, y se pasteuriza a 90-95 °C. Seguidamente la nata se desodoriza y se enfría. Se añaden después cultivos de bacterias (colonias de bacterias criadas en laboratorio), cuyos procesos metabólicos producen el ácido láctico que facilita la coagulación de la leche (cuajada), así como otros compuestos aromáticos. La mezcla se deja en reposo durante una noche a 10-21 °C. Una vez terminada la maduración, la nata o crema líquida se introduce en mantequeras donde se produce el mazado o batido. Se elimina el suero (mazada), y la mantequilla es lavada y malaxada —amasada a fin de hacerla más blanda y flexible— para darle homogeneidad. Finalmente se introduce en cámaras frías, se moldea y empaqueta.

En el caso de la mantequilla salada, se añade sal en la proporción de 1-3%. Con este método "intermitente" se producen alrededor de 500 kg de mantequilla a la hora.

Después de la II Guerra Mundial se empezó a desarrollar un nuevo método, el procedimiento continuo, en el cual una fina capa de nata es introducida sin interrupción en un cilindro rotativo. Aunque pueden existir ligeras variaciones entre una fábrica y otra, la producción continua de mantequilla se divide en dos categorías principales. La primera utiliza nata que contiene normalmente el 36-40% de grasa. La segunda emplea un tipo de nata concentrada, con un 35-80% de grasa, obtenida separando más agua de lo normal. Después del batido, esta mezcla contiene un 98% de grasa. Llegados a este punto, se añade agua y los componentes sólidos de la leche hasta que el contenido en grasa sea del 62%. Con el sistema continuo de elaboración de mantequilla pueden producirse alrededor de 5.000 kg de mantequilla por hora.

El segundo método de fabricación en continuo se utiliza muy a menudo para la preparación de aceite de mantequilla, ya que se ha comprobado que un alto contenido en grasa de la crema tiene un efecto negativo en el sabor de la mantequilla.

En Australia se han desarrollado métodos para la producción de mantequilla en polvo. La nata es homogeneizada con leche completamente desgrasada, después



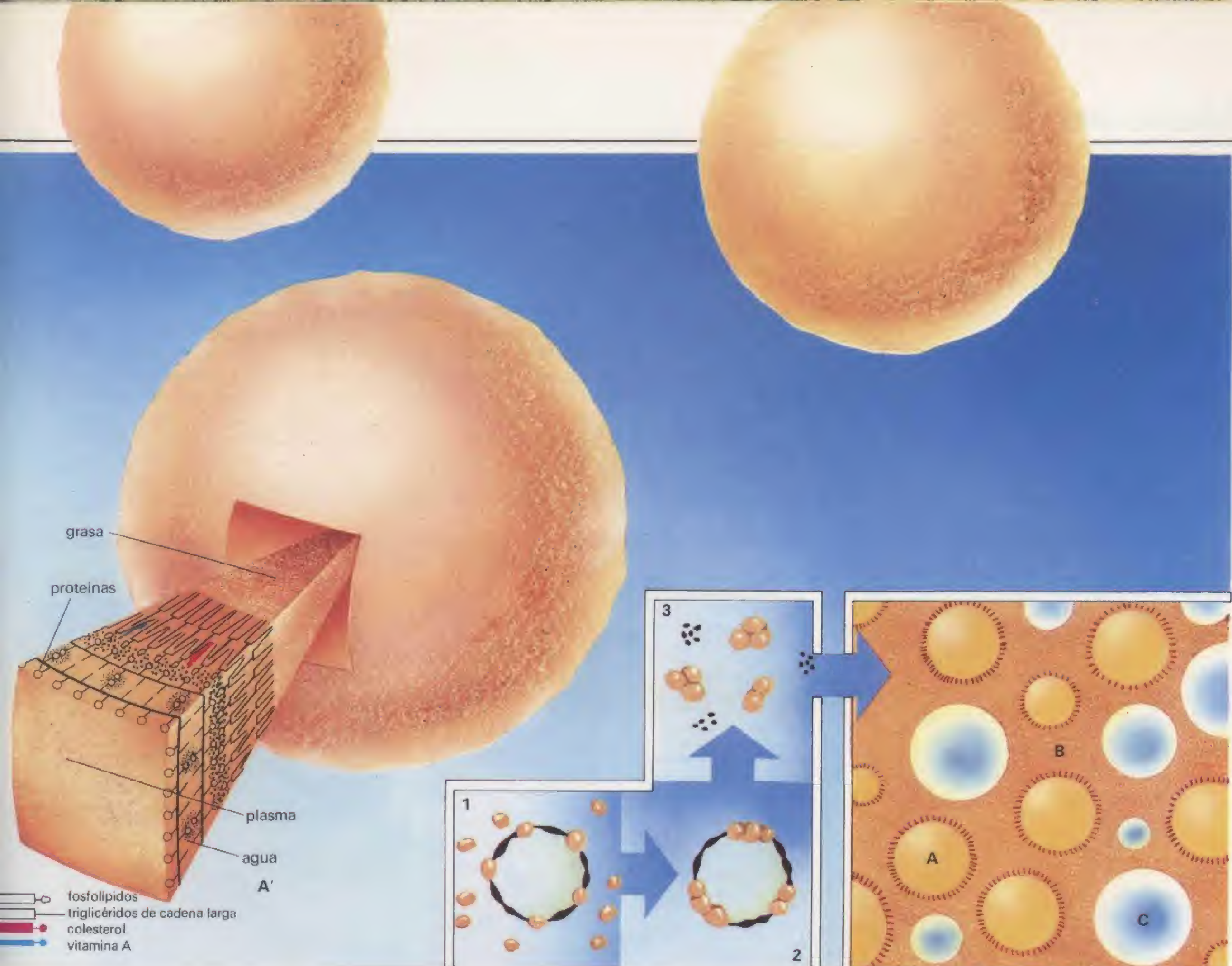
La mantequilla es un importante producto procedente de la manipulación de la leche y particularmente de la crema que se deposita en la superficie, de la crema de centrifugación o de la del suero. La verdadera producción de la mantequilla se obtiene mediante el batido mecánico con agitadores o en

recipientes que giran alrededor de un eje. La operación dura de 40 a 50 minutos y al final se obtiene una masa sólida formada por gránulos de tamaño de granos de arroz y una parte líquida, el suero. Arriba, fases de elaboración de la nata y de la mantequilla. En el cuadro de la derecha, composición química y valor nutritivo de la nata y de la mantequilla.

es secada e introducida a presión en una corriente de aire caliente que evapora el agua y deja un polvo como residuo. Mezclando el polvo con el agua, se libera la grasa de la mantequilla. La utilidad práctica de la mantequilla en polvo es grande en los países cálidos o donde existen problemas para su conservación.

Calidad nutritiva El color amarillo de la mantequilla se debe en gran parte a su contenido en vitamina E y en carotenoides existentes en la hierba de la que se alimentan las vacas de leche. En invierno el ganado consume mezclas secas de heno y cereales pobres en carotenoides;

componentes	nata	mantequilla
agua (%)	58,4	14,6
proteínas (%)	2,3	0,8
lípidos (%)	35,0	83,4
glúcidos (%)	3,4	1,1
cenizas (%)	0,5	0,1
valor calórico (kcal/100 gr)	340	760
hierro (mg/100 gr)	trazas	trazas
calcio (mg/100 gr)	78	15
fósforo (mg/100 gr)	61	16
vitamina B ₁ (mg/100 gr)	0,02	trazas
vitamina B ₂ (mg/100 gr)	0,11	trazas
vitamina A (mg/100 gr)	335	960



El batido modifica el estado de equilibrio coloidal que tiene la grasa emulsionada en el agua: los glóbulos de la grasa pierden la membrana protectora y pueden unirse entre sí fácilmente. La parte grasa obtenida es posteriormente trabajada para que resulte compacta y homogénea. En la ilustración superior pueden apreciarse los fenómenos que tienen

lugar durante el batido de la crema. Los glóbulos de grasa tienden a reunirse alrededor de las burbujas de aire (1) y forman un amasijo de dimensiones cada vez mayores (2); al mismo tiempo tiene lugar el fenómeno de la coalescencia (3); la película que los contiene se rompe y la parte más fluida de la grasa sale al exterior. Esto tiene lugar en

varios glóbulos a la vez y, de esta forma, la grasa y algunos glóbulos de triglicéridos íntegros (A), cuya estructura vemos en A', confluyen en un único amasijo (B) que se separa de la fase acuosa (suero, C). El esquema de la derecha recoge, en porcentajes, los lípidos —saturados e insaturados— que se dan en la mantequilla.

la mantequilla producida en verano con leche de vacas alimentadas con hierba verde presenta un color natural más claro y una consistencia más suave que la mantequilla de invierno.

La mantequilla se encuentra en el segundo lugar entre las grasas alimenticias más utilizadas en el mundo. Aunque es altamente nutritiva (aporta también vitaminas y sales naturales), su alto contenido en materia grasa hace que numerosas personas deban limitar su consumo.

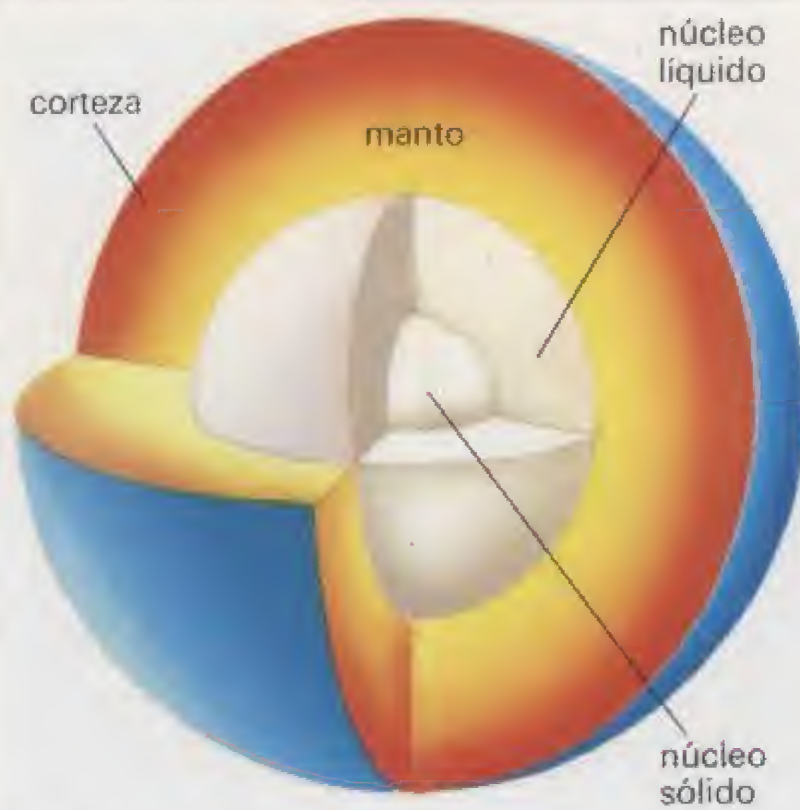
Conservación Uno de los principales problemas que presenta la mantequilla es su conservación. Por sus especiales carac-

terísticas, no resulta posible conservar este alimento por tiempo indefinido sin que lo acusen su aspecto y su sabor. La mantequilla fresca debe mantenerse a baja temperatura y preservada de la luz y del aire. Para conservarla durante largo tiempo es necesario añadirle de 5 a 10 gramos de sal por cada 100 gramos de mantequilla (mantequilla semisalada), ya que está prohibida la adición de cualquier otro tipo de antiséptico.

Véase **Alimentación y nutrición; Lípidos; Margarina; Quesera, industria**

LÍPIDOS CONTENIDOS EN LA MANTEQUILLA (%)	
Saturados total 52%	Insaturados total 27%
palmitico 22%	oleico 26,5%
esteárico 10%	linoleico 2%
mirístico 9%	otros 4,5%
láurico 3%	
butírico 4%	
otros 4%	
otros ácidos grasos	3-4%
total lípidos	62-83%

Manto terrestre



Hasta finales del siglo XIX, la ciencia sostenía que la Tierra estaba constituida por un líquido caliente en ebullición, recubierto externamente por una fina corteza. Una confirmación de esta hipótesis eran los volcanes, que arrojaban periódicamente sobre la superficie masas de rocas fundidas (lava). Sin embargo, en 1913 el geofísico germanoamericano Beno Gutenberg descubrió la existencia de una discontinuidad (una línea de demarcación sísmica que sugiere una importante variación de composición) a una profundidad de 2.580 kilómetros, lo que proporcionaba una base innegable a la hipótesis, cada vez más extendida en el ambiente científico y que ya Oldham había anticipado en 1906, de que el interior de la Tierra estaba formado por un núcleo central líquido rodeado de un manto de material sólido.

Reexaminando sus propios estudios sobre un terremoto acaecido en 1909, el sismólogo croata Andrija Mohorovičić descubrió otra discontinuidad —que hoy día lleva su nombre—, formando el límite entre el manto y la corteza terrestres. Su profundidad varía de los 8-10 kilómetros bajo los océanos a los 30-40 kilómetros en las regiones continentales estables. La profundidad de esta discontinuidad está en relación directa con la altura topográfica, aumentando bajo las cadenas montañosas y disminuyendo en las regiones llanas. Estudios sucesivos han permitido subdividir el manto en una parte superior (con un espesor de casi 1.000 km) y una parte inferior (con un espesor de unos 1.900 kilómetros).

El manto constituye casi el 85% de la Tierra, y nos proporciona gran cantidad de información sobre la edad, el origen y los mecanismos de formación de nuestro planeta. Sin embargo, y paradójicamente, no existe ninguna documentación directa sobre la composición y el comportamiento del mismo. Todo lo que se sabe hoy día sobre el manto se basa en su mayor parte en la interpretación de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas generadas por los terremotos. Las sacudidas más fuertes, en las que se libera una cantidad de energía superior a la de una bomba atómica, generan ondas de choque que atraviesan el planeta a una velocidad variable, que depende fundamentalmente

de la densidad de los materiales por los que pasan. Por ejemplo, las ondas sísmicas P (o primarias), que son las primeras que alcanzan las estaciones de registro, aceleran su velocidad en las zonas de discontinuidad y la disminuyen al pasar por capas de rocas blandas o donde existen materiales fundidos.

Otras informaciones indirectas sobre el manto se basan en el estudio comparativo de los meteoritos, que se piensa representan diferentes estados de acreción de materia planetaria formados en los estadios iniciales del Sistema Solar. Finalmente, otros datos se obtienen también mediante la reproducción en el laboratorio de las condiciones de altas temperaturas

LAS ROCAS DEL MANTO

El manto terrestre está cubierto globalmente por la corteza, que, incluso donde es más fina, tiene siempre un espesor de varios kilómetros. Todavía hoy el manto sigue siendo inaccesible, dado que aún no ha sido posible perforar hasta esa profundidad. Afortunadamente, en algunos casos los procesos geológicos orogénicos han transportado hasta la superficie muestras de rocas del manto superior. Asimismo, algunos magmas de origen profundo han arrancado en su ascenso fragmentos del manto, que son arrojados a la superficie en las coladas de lava. Las figuras muestran dos rocas peridotíticas propias del manto superior. La primera es un acúmulo de cristales de olivino, cuyo aspecto se ve con más detalle en la segunda. El olivino es



muy rico en forsterita, que es el componente magnésico (Mg_2SiO_4).

peridotita (acumulado de cristales de olivino)



zona de transición



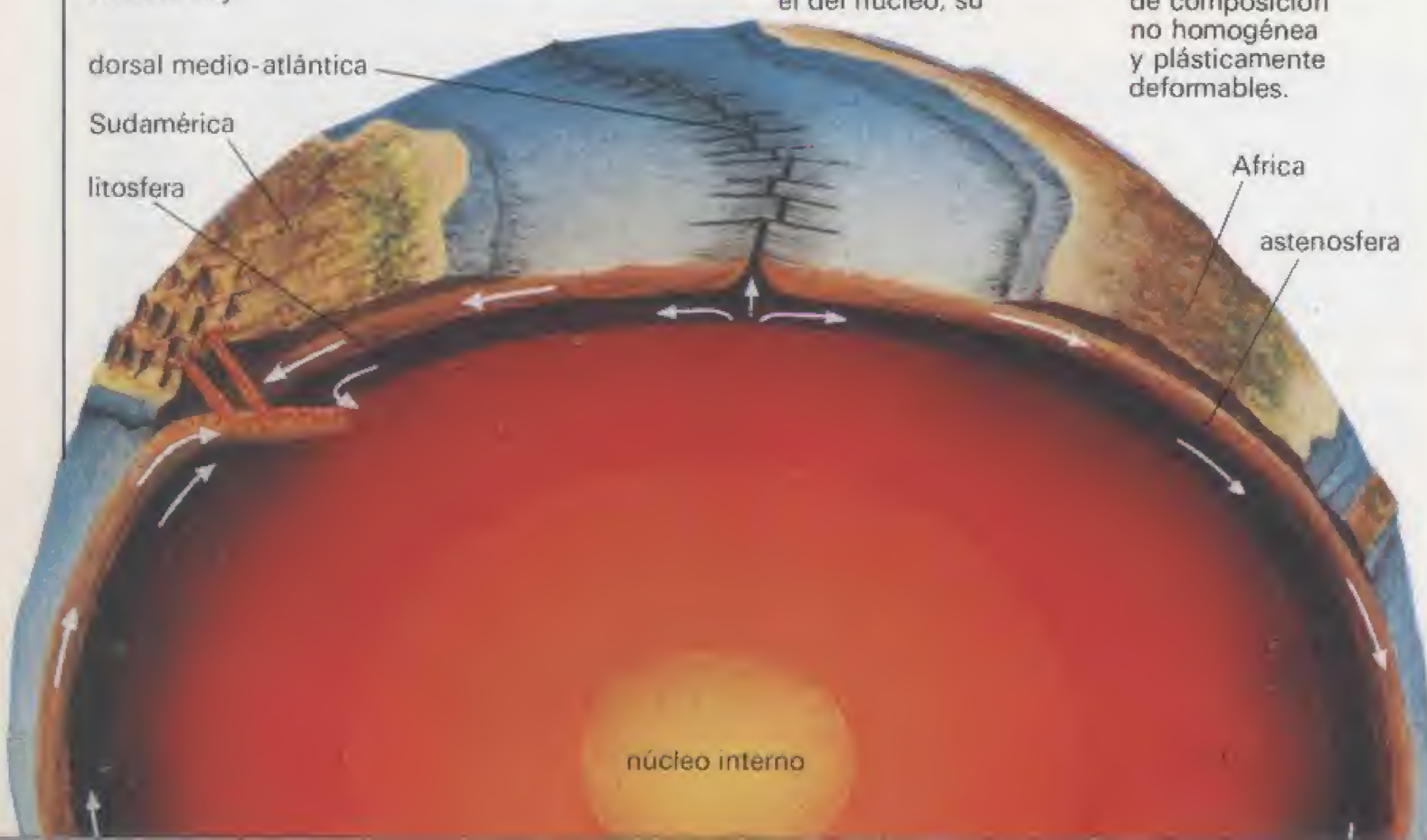
olivino forsterítico

Arriba, a la izquierda, esquema del interior de la Tierra visto en un corte. Aunque el espesor del manto sea más pequeño que el del núcleo, su

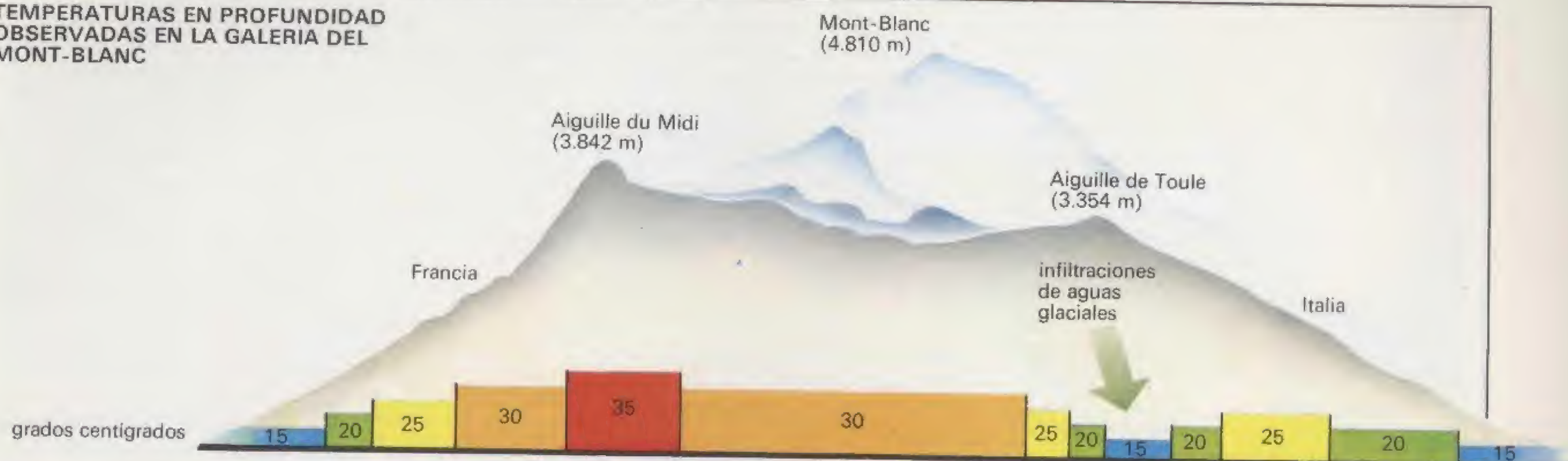
volumen es varias veces mayor. A la izquierda, sección del manto terrestre. En su parte superior se encuentran rocas de composición no homogénea y plásticamente deformables.

Fenómenos físicos y químicos concurren probablemente en la concentración de elementos radiactivos, que por acumulación local del calor generado por su desintegración provocan la fusión de las rocas y les confieren una movilidad que las hace desplazarse en convección vertical. Seguramente al extenderse horizontalmente provocan el movimiento de las placas litosféricas. Asimismo, éstas pueden ser perforadas por los magmas calientes procedentes de esta zona, dando lugar a fenómenos volcánicos. A su paso por la corteza, estos

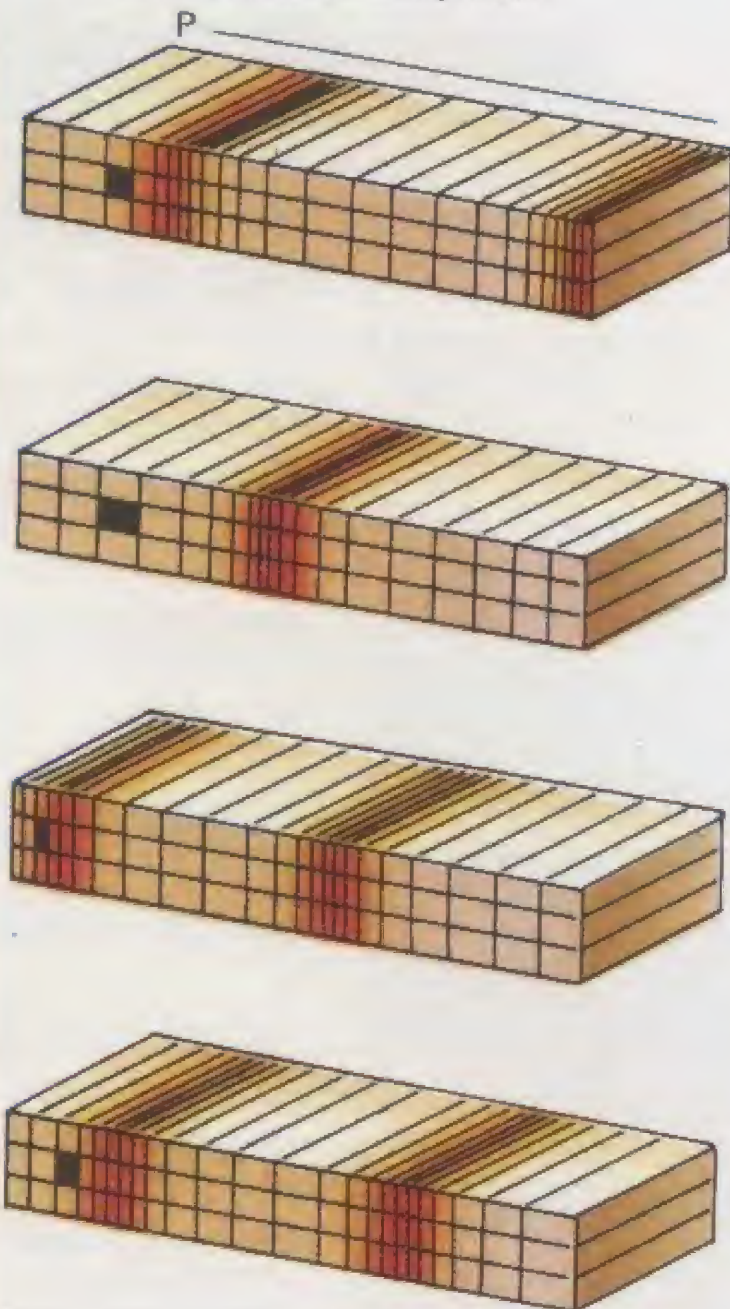
magmas se contaminan al incorporar fragmentos de rocas, que pueden ser completamente fundidos o bien persistir como cuerpos extraños, llamados *enclaves*, en el interior de la lava arrojada finalmente por el volcán. La temperatura aumenta con la profundidad en el interior de la Tierra. La prueba la tenemos al descender a pozos o minas profundos. Así, por ejemplo, en la galería excavada bajo el Mont-Blanc se ha encontrado altas temperaturas, suavizadas tan sólo por las aguas glaciales que se han infiltrado desde arriba (esquema superior de la página siguiente).



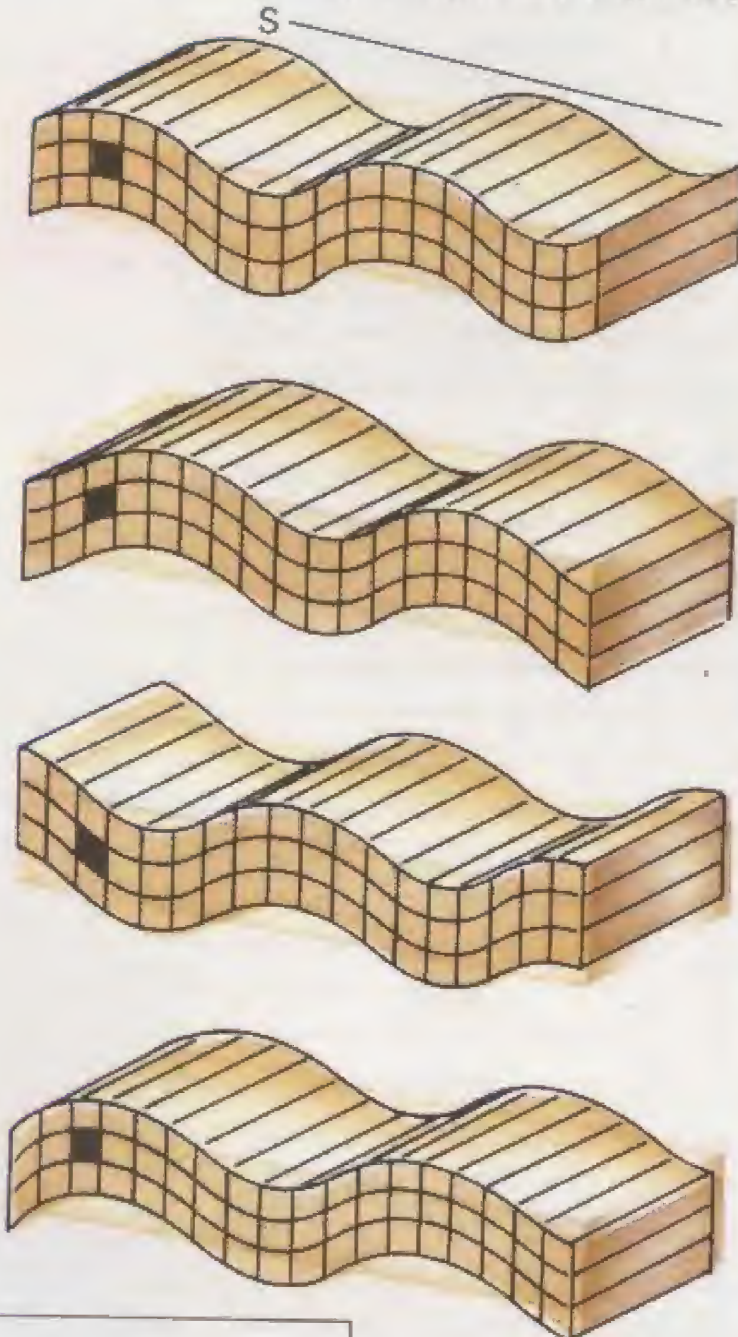
TEMPERATURAS EN PROFUNDIDAD OBSERVADAS EN LA GALERIA DEL MONT-BLANC



dirección de la propagación de las ondas sísmicas de compresión



dirección de propagación de las ondas sísmicas transversales



VELOCIDAD DE LAS ONDAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES SEGUN GUTENBERG

Profundidad (km)	Velocidad de las ondas longitudinales (km/s)	Velocidad de las ondas transversales (km/s)
60	8,15	4,60
100	8,00	4,40
150	7,85	4,35
200	8,05	4,40
300	8,50	4,60
400	9,00	4,95
500	9,60	5,30
600	10,10	5,60
700	10,50	5,90
800	10,90	6,15
900	11,30	6,30
1.000	11,40	6,35
1.200	11,80	6,50
1.400	12,05	6,60
1.600	12,30	6,75
1.800	12,55	6,85
2.000	12,80	6,95
2.200	13,00	7,00
2.400	13,20	7,10
2.600	13,45	7,20
2.800	13,70	7,25
2.900	13,70	7,20
núcleo	13,65	7,20

Arriba, dos métodos para estudiar el manto: uno ligado al tipo de ondas sísmicas que se propagan por él; el otro, a sus velocidades. En la columna de la izquierda, las ondas P u ondas de compresión, que se pueden propagar tanto en los sólidos como en los líquidos. En la columna de la derecha, el movimiento de un bloque de terreno al paso de las ondas S u ondas transversales, que sólo se pueden propagar en rocas sólidas. A la izquierda, cuadro de la velocidad de las ondas en relación a la profundidad.

y presiones existentes a diferentes profundidades del planeta y mediante el estudio del comportamiento de distintos minerales que se supone existen en esas condiciones. Puesto que los meteoritos, los llamados *condritos*, están compuestos la mayoría por silicatos de magnesio y hierro, hoy en día se piensa unánimemente que el manto está principalmente constituido por una combinación de estas dos sustancias.

Composición del manto La comparación de los resultados del laboratorio con las observaciones sísmicas sugiere que el manto inferior contiene probablemente más hierro, hecho que explicaría su mayor uniformidad y estabilidad al paso de las ondas sísmicas. Pero el manto superior es bastante más complejo. Su parte más alta, directamente bajo la corteza, debe de estar mayoritariamente constituida por una roca llamada *peridotita*, cuyo mineral principal es el olivino (Mg_2SiO_4). Se trata de una roca muy densa y rígida que llega a veces a la superficie como fragmentos transportados por lavas basálticas de origen profundo. A mayor profundidad, entre los 100 y los 200 km, se detecta una caída en la velocidad de propagación de las ondas S (secundarias) que sugiere la existencia de un pequeño porcentaje de fundido en la roca. Se piensa que este nivel es el responsable de la dinámica de las rígidas placas litosféricas al facilitar, dada su plasticidad, los desplazamientos horizontales de las mismas. Desde este canal de baja velocidad sísmica hasta el límite con el manto inferior se extiende una zona de transición sólida en la que probablemente —y debido principalmente a las enormes presiones— tiene lugar el colapso de las estructuras cristalinas de los minerales de la peridotita para formar otras mucho más densas (espinela, granate, etc.) El paso al manto inferior es probablemente también el resultado de cambios estructurales en los minerales como consecuencia del aumento continuo de la presión. Los datos sugieren que el manto inferior lo constituyen mezclas de óxidos metálicos muy densos.

Véase **Núcleo terrestre; Tectónica; Terremoto; Tierra**

Mapa geológico

La Geología es la ciencia que estudia la composición, estructura y evolución de la Tierra. Es, por lo tanto, indispensable que la distribución geográfica de las sustancias que componen la Tierra esté documentada con gran exactitud, para lo cual se llevan los datos conocidos a un mapa que se denomina *mapa geológico*. Así, en cualquier momento se puede disponer de un mapa donde poder encontrar la posición de una formación rocosa dada o de un determinado filón mineral. La técnica empleada para preparar un mapa de este tipo recibe la denominación de *cartografía geológica*.

Un elemento de fundamental importancia en la cartografía geológica, que está en función de los fines del mapa, es la elección de la escala a la que se quiere representar. Si se va a realizar un estudio muy detallado, es a menudo necesario un mapa de base a escala 1:10.000 (10 cm = 1 km) ó 1:15.840 (4 pulgadas = 1 milla) según el país en el que esté situada la zona que se quiere examinar. En cambio, un mapa de reconocimiento general se puede hacer adecuadamente a una escala mucho más pequeña, por ejemplo 1:100.000 (1 cm = 1 km) ó 1:75.000 ó 1:50.000 (en el caso de mapas confeccionados con unidades de medida anglosajonas, bastará un mapa a escala 1: 63.360 —es decir 4 pulgadas = 1 milla—). Cuanto mayor sea la relación indicada, menor será la escala; es decir, por unidad de su superficie el mapa cubrirá un área más grande pero, evidentemente, con menor detalle.

Los mapas a escala mucho menor, como 1:250.000 y 1:1.000.000, son muy útiles para ilustrar una región entera o un país pequeño. Los mapas mundiales se confeccionan a escalas que van desde 1:5.000.000 hasta 1:30.000.000.

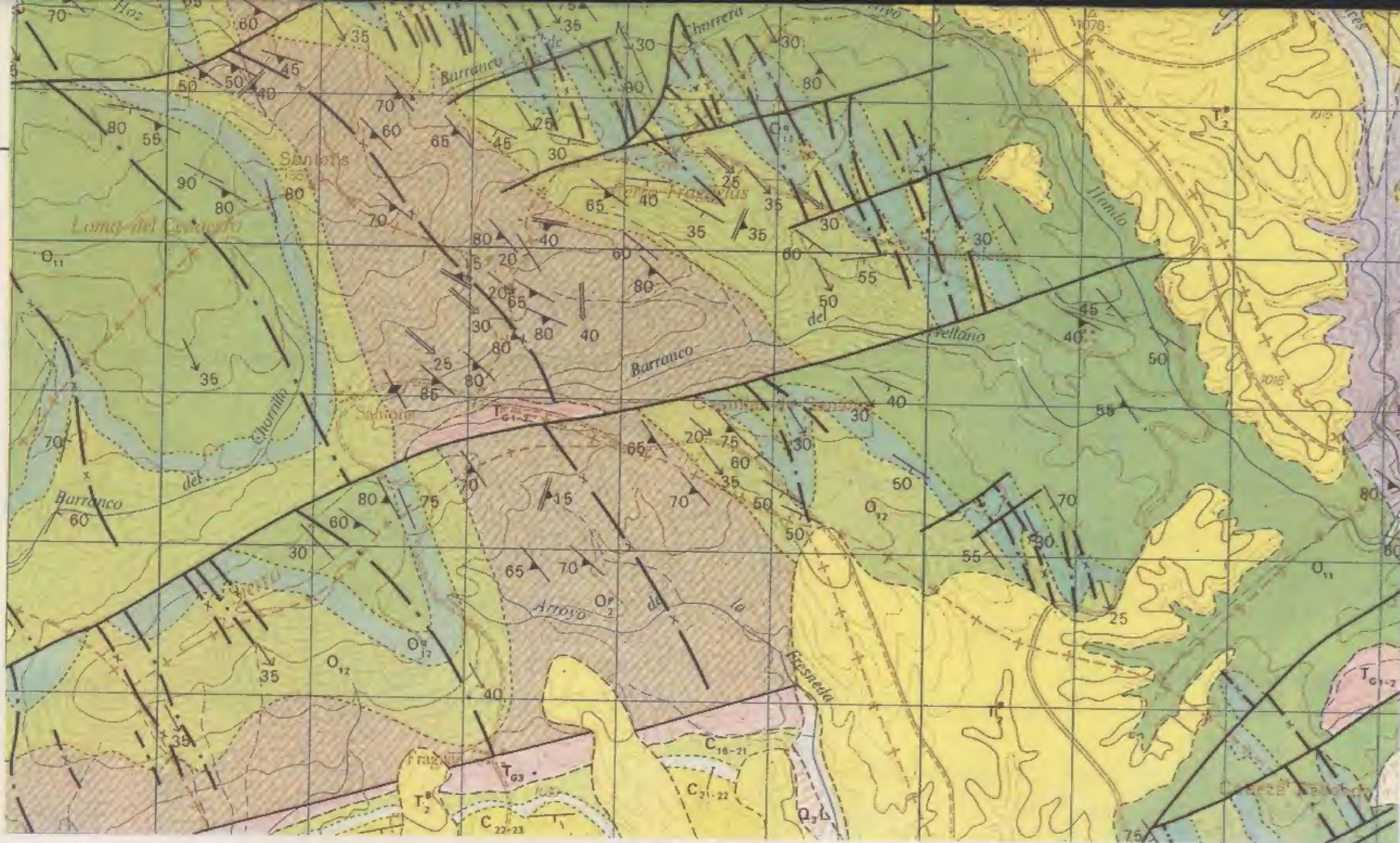
Este tipo de mapas, que se utiliza para fines de planificación general o para la docencia, no se prepara nunca partiendo de observaciones directas, sino que se obtiene por compilación de otros mapas a escalas mucho mayores.

Qué indica un mapa Existen distintos tipos de mapas para representar los diferentes rasgos geológicos de cualquier zona en estudio.

Un mapa *geotectónico* indica las estructuras, las fallas (fracturas), los pliegues y los espesores de los lechos rocosos. Un mapa geológico *para ingeniería de construcción* resalta la litología (tipos de roca y su dureza) y representa los depósitos de arena, grava, arcilla o caliza que podrán ser explotados en la construcción de manufacturas o de autopistas. Un mapa *hidrogeológico* representa las formaciones porosas que pueden indicar la presencia de acuíferos. Otros mapas indican las formas terrestres (paisaje físico), los recursos minerales, los yacimientos petrolíferos y otros datos geofísicos.

En general, los mapas geológicos genéricos representan únicamente las formaciones superficiales más importantes. En los mapas a gran escala, una apropiada

CUAT.		HOLOCENO			Q ₂ Al	Q ₂ T	Q ₂ L	Q ₂ T Terrazas
TERCIARIO	NEOGENO	PLIOCENO			T ₂ ^B			T ₂ ^B Raña
		MIOCENO	SUP.	TUROLIENSE	T _{C1-21} ^{Ba-B}	T _{C1-2} ^{Ba-B}	T _{C1-2} ^{Ba-B} Arcillas rojas con cantos cuarcíticos	
				VALLESIENSE				
				ASTARACIENSE				
				ORLEANIENSE				
				AGENIENSE				
		PALEOGENO	OLIGOCENO	ARVERNIENSE	T _{C33-1} ^{A-Ba}	T _{C2-33} ^{A-A}	T _{C25} -T _{C2} ^A Yesos masivos y fibrosos	
				SUEVIENSE				
				HEADONIENSE				
			EOCENO - PALEOCENO					C ₂₁₋₂₂ Calizas nodulosas y margas
	CRETACICO	SUPERIOR	MAASTRICHT	C ₇₅ -T _{C2} ^A	C ₂₃₋₂₆	T _{G3} Limolitas y yesos		
			CAMPANIENSE					
			SANTONIENSE					
			CONIACIENSE					
TURONIENSE								
CENOMAN.								
INFER.		ALBIENSE	C ₁₆₋₂₁	C ₂₂₋₂₃	T _{G1-2} Areniscas, conglomerados y arcillas			
TRIASICO	SUPERIOR		F. K.	T _{G3}	P ₁₁₋₁₂ Lubitas, areniscas y brechas	S ₁ ^A Cuarcitas		
	MEDIO			T _{G2-3}			O ₃ -S ₁ ^A Pizarras arenosas y areniscas	
	INFERIOR			T _{G1-2}				O ₃ -S ₁ ^A Pizarras negras homogéneas
PERMICO	INFER.	SAXONIENSE	F. B.	P ₁₁₋₁₂	O ₁₂ Alternancia de pizarras, pizarras arenosas y arenisca	O ₂ Pizarras negras homogéneas		
		AUTUNIENSE						
SIL.	INFER.	LLANDOVERIENSE		S ₁ ^A	O ₃ -S ₁ ^A	O ₁₂ Cuarcitas en bancos potentes		
ORDOVICICO	SUPERIOR		F. M.	O ₃ -S ₁ ^A	O ₃ -S ₁ ^A	O ₁₁ Alternancia de cuarcitas y pizarras con intercalaciones de conglomerados y cuarcitas conglomeráticas		
	MEDIO			O ₃				
				O ₃ ^P			PC-CA* ₅ Neis de grano fino con intercalaciones de cuarcitas feldespáticas, cuarcitas y micacitas	
	INFERIOR	SKIDAVIENSE		O ₁₂				
				O ₁₂				
				O ₁₁				
CAMBRICO - PRECAMBRICO				PC-CA _w ⁵	PC-CAT Cuarcitas, cuarcitas feldespáticas y micacitas con intercalaciones de calizas, cuarcitas anfíbolitas y anfíbólicas			
				PC-CA ₅ ²	PC-CA ₅ ² Neis glandular con megacristales de feldespato			
				PC-CA ₇	PC-CA ₇ Neis glandular			
				PC-CA ₅	PC-CA ₅ Cuarcitas feldespáticas con intercalaciones y cuarcitas			
				PC-CA	PC-CA Cuarcitas feldespáticas con intercalaciones y cuarcitas			



da "leyenda", situada a un lado del mapa, clasifica las rocas según sus tipos y edades (formaciones), dando a cada una una denominación distintiva local según el Código Internacional de Nomenclatura Estratigráfica. En la "leyenda" están enumeradas las formaciones geológicas, acompañadas de un color y un código alfabético, seguido de una descripción somera y ordenada de dichas formaciones en base a su edad. Este último punto es de gran importancia, ya que las formaciones rocosas más jóvenes se representan al inicio de la "leyenda" y las más antiguas al final, del mismo modo en que las encontraríamos si hiciésemos un sondeo profundo. De esta manera se respeta también la ley de Steno, que establece simplemente que en una sección estratigráfica, no afectada por deformaciones posteriores, las formaciones más antiguas se encuentran en profundidad, mientras que las progresivamente más jóvenes aparecen a medida que se va ascendiendo hacia la superficie.

La "leyenda" del mapa incluye también, cuando es posible, la edad de la formación, obtenida de la presencia de fósiles o mediante dataciones radiométricas.

Generalmente, en el mapa son tres las letras que acompañan el código en color: una indica el sistema, otra, la serie, y finalmente la tercera señala la formación rocosa a la que se refiere.

Para indicar la "serie" se usan las letras *i*, *m* y *s* (inferior, medio y superior). Por ejemplo, *Dio* significa "Devónico inferior, formación de Oriskany". El *Devónico inferior* indica la edad y *Oriskany* es el nombre local de una formación bien diferenciada. Así, en el caso concreto del Mapa Geológico de España (MAGNA) a escala 1:50.000, cada formación rocosa recibe un color distinto, acompañado por un código de letras y números. Las letras mayúsculas corresponden a la división cronoestra-

tigráfica en "sistemas", mientras que los subíndices numéricos indican los "pisos". Las letras minúsculas resaltan las diferencias litológicas.

Los códigos de colores son facultativos, excepto para los mapas mundiales a escala muy pequeña o para los mapas de las regiones específicas de gran interés mundial (en general, a escala 1:5.000.000) cuyos colores son fijados por una Comisión de la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas: así, para el Terciario se utiliza el amarillo o el marrón; para el Cretácico, el verde; para el Jurásico, el azul; etc.; y del mismo modo otros tonos para los demás sistemas.

Confección de un mapa geológico

Antes de comenzar a preparar un mapa geológico hay que disponer de un mapa físico (topográfico) corriente como elemento de base. Sobre él se dibujan los contactos entre las formaciones rocosas con lápices de colores o empleando diferentes símbolos gráficos para los distintos tipos de contacto y las distintas estructuras de las formaciones rocosas. En la "leyenda" se explica el significado de los colores o del código gráfico empleados.

Para la mayor parte de Europa y América del Norte existen ya estos mapas físicos. En ellos están representadas las ciudades, los ferrocarriles, las carreteras principales y otras grandes obras construidas por el hombre. También están representadas las principales formas del relieve, que constituyen el paisaje, ilustradas por medio de adecuadas tonalidades de color o con líneas de contorno (líneas de igual altitud) o incluso con ambas. Otra técnica se basa en el empleo de fotografías aéreas, sobre las que se superpone una hoja de plástico transparente en la que se dibujan los rasgos geológicos mediante lápices de colores. Sigamos, por ejemplo, a un geólogo que haya observado una ali-

Una pequeña parte del Mapa Geológico de España, correspondiente a la hoja n.º 460 (Hendelaencina). La

geología, formaciones y estructura se representan sobre el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000.

neación de afloramientos de una cierta roca, que se extienden a ambos lados de una autopista. Es relativamente fácil localizar sobre el mapa la posición de dichos afloramientos utilizando puntos de referencia claramente identificables sobre la carretera y midiendo de alguna forma las distancias. Pero ¿qué ocurre cuando el afloramiento está lejos de un punto identificable? En este caso es necesario utilizar una brújula magnética. Con ella se procede a un levantamiento de la disposición del afloramiento respecto a la dirección Norte y se lleva este dato al mapa. Las distancias sobre la línea de afloramiento se miden aproximadamente en pasos o, si se quiere una precisión mayor, con una cinta métrica de 20 metros.

Si el trabajo de cartografía geológica se realiza en un terreno inexplorado, se ha de realizar primero el mapa físico de base, antes de pasar a los levantamientos geológicos propiamente dichos. En estos casos es de gran ayuda el poder disponer de fotografías aéreas.

Cuando se examina una zona para la cual ya existe un mapa geológico, es indispensable tener una cierta experiencia para poder descifrar todas las indicaciones que están en código, así como los distintos colores. En estos casos sería de gran ayuda un pequeño manual de "geología de campo", aunque las reglas fundamentales no son muy difíciles. En general: los colores representan las edades geológicas, la "leyenda" indica las diferentes formaciones rocosas, y las tramas en negro se refieren a los detalles estructurales.

Véase **Cartografía; Levantamiento topográfico**

Indice

Volumen VIII

- Ingeniería genética, 1700
- Ingeniería oceanográfica, 1704
- Injerto, 1706
- Injerto (Medicina), 1708
- Inmunidad, 1710
- Insecticidas y otros plaguicidas, 1712
- Insectos, 1716
- Insectos, control biológico, 1720
- Insonorización, 1722
- Instalaciones eléctricas, 1724
- Instalaciones sanitarias, 1726
- Instrumentos musicales, 1730
- Instrumentos musicales eléctricos y electrónicos, 1734
- Integrales, 1738
- Inteligencia artificial, 1742
- Interferencia e interferometría, 1744
- Intestino, 1746
- Invernadero, 1748
- Invertebrados, 1750
- Investigación médica, 1754
- Investigación operativa, 1758
- Iones, 1762
- Ionización, cámara de, 1764
- Isótopos, 1766
- Jabón, 1768
- Jardinería y horticultura, 1770
- Jaqueca, 1774
- Juegos electrónicos, 1776
- *Juke-box*, 1778
- Junta universal, 1780
- Júpiter, 1782
- Jurásico, período, 1786
- Laboratorio físico y químico, 1788
- Laboratorio fotográfico, 1794
- Lago, 1796
- Lámpara de arco, 1800
- Lana, 1802
- Lantánidos, 1804
- Lanzagranadas, 1806
- Láser, 1808
- Lavadora, 1816
- Lavavajillas, 1818
- Lector óptico (OCR), 1820
- Leguminosas, 1822
- Lenguaje y lenguas, 1824
- Lente, 1826
- Lentes de contacto, 1828
- Levaduras, 1830
- Levantamiento topográfico, 1832
- Levantamiento topográfico con satélite, 1834
- Libro, 1836
- LIDAR (laser de impulsos), 1838
- Limpieza en seco, máquina de, 1840
- Línea eléctrica de alta tensión, 1842
- Linfático, sistema, 1844
- Linterna, 1846
- Liofilización, 1848
- Lípidos, 1850
- Litio, 1854
- Litosfera, 1856
- Locomoción animal, 1860
- Locomotora, 1862
- Logaritmo y otras funciones elementales, 1866
- Lógica matemática, 1870
- LORAN, 1876
- Lubricantes, 1878
- Luna, 1880
- Luz, 1884
- Luz polarizada, 1890
- Llaves, fabricación de, 1892
- Lluvia, 1894
- Lluvia radiactiva, 1896
- Macho, 1898
- Madera, 1900
- Madera contrachapada, 1904
- Magnesio, 1906
- Magnetismo, 1908
- Magnetófono, 1912
- Magnetohidrodinámica, 1914
- Magnetosfera, 1918
- Maíz, 1922
- Malaria, 1924
- Malformaciones congénitas, 1926
- Mamíferos, 1928
- Manganeso, 1932
- Manta eléctrica, 1934
- Mantequilla, 1936
- Manto terrestre, 1938
- Mapa geológico, 1940

